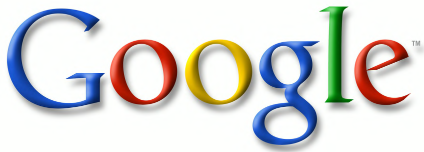
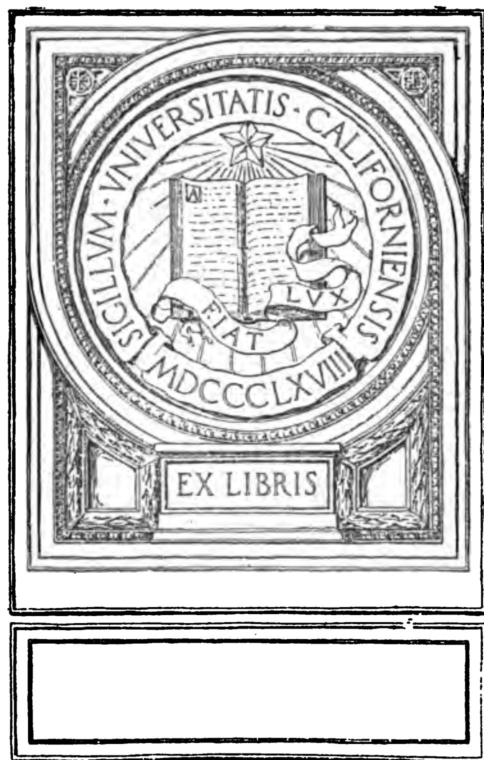





SIGILLVM · VNIVERSITATIS · CALIFORNIENSIS
FIAT LVX
MDCCCLXVIII
EX LIBRIS

Michelsen.

Grundzüge der Physik,

mit

Rücksicht auf Chemie

als Leitfaden für die mittlere physikalische Lehrstufe

methodisch bearbeitet

von

Dr. F. E. Johannes Crüger.

Zehnte Auflage.

Mit 170 in den Text eingedruckten, neuen Holzschnitten.



Erfurt.
G. W. Körner's Verlagsbuchhandlung.
1866.

QC21
C75

26675

Druck von B. G. Teubner in Leipzig.

Vorrede zur ersten Auflage.

Zwei Umstände sind es, die den Verfasser bewogen haben, den vorliegenden Leitfaden für die mittlere physikalische Lehrstufe früher der Oeffentlichkeit zu übergeben, als den bereits angekündigten, vorbereitenden Cursus, einmal das in der unterrichtlichen Thätigkeit des Verfassers sich unmittelbar zunächst aufdringende Bedürfniß, andererseits eine Veränderung des ursprünglichen Plans, durch welche der erste Cursus, allerdings nicht im Prinzip, wohl aber in der Ausführung afficirt und erweitert wird. Wir können das Prinzip weder aufgeben, noch irgendwie modificiren, daß dem ersten Cursus, den wir als Anschauungscursus bezeichnen, eine Reihe von einfachen Versuchen zu Grunde liegen müsse, die sich ohne großen Aufwand mit den gewöhnlichen Werkzeugen anstellen lassen, und daß von den complicirteren Apparaten nur solche Besprechung finden dürfen, die sich ungesucht im Verkehr des täglichen Lebens dem Blicke und der Benutzung des Beobachters darbieten. Wie wir an einem anderen Orte*) dies Prinzip zu begründen und für die Bedürfnisse einer gewöhnlichen Volksschule durchzuführen versucht haben, so ist die Absicht, auch den Anschauungscursus für irgend höher stehende Schulen auf einfache Experimente zu basiren und die Anstellung derselben durch beigedruckte Holzschnitte zu veranschaulichen, zugleich aber auch diese Versuche in einem Umfange und in solcher Behandlung darzubieten, daß sie als Schule der Physik, gegründet auf einfache Versuche, einem größeren Leserkreise Interesse abzugewinnen und einem weit und breit gefühlten Bedürfnisse abzuhelfen im Stande sei. Was nun den vorliegenden zweiten Cursus betrifft, so ist von ihm noch alles mathematische Material ausgeschlossen, und zum Verständniß desselben wird höchstens die arithmetische Gewandtheit erfordert, welche jede gute Schule zu geben pflegt. Die mathematische Begründung derjenigen Lehren, die eine derartige Behandlung zulassen, dürfte einer dritten Lehrstufe vorzubehalten sein, die wir als den vorwiegend mathematischen Cursus der Physik bezeichnen, und als Vorbilder zu deren Behandlung die Werke von Ettingshausen und von Grunert sich auszeichnen. Beschäftigt sich aber diese

*) Dr. Crüger, die Physik in der Volksschule. Ein Beitrag zur methodischen Behandlung des ersten Unterrichts in der Physik. Erfurt und Leipzig, 1850, achte Auflage 1863. — Derselbe, die Naturlehre, für den Unterricht in Elementarschulen bearbeitet; erste Auflage 1855; zehnte Auflage. 1866.

dritte Lehrstufe vor Allem mit wissenschaftlicher Begründung, so wird sie das zu Begründende als bekannt voraussetzen und von der vorhergehenden Stufe eine möglichst allseitige Feststellung der Thatsachen verlangen, um die es sich handelt. Während somit die erste Stufe nur die einfachsten physikalischen Anschauungen bieten konnte, ist an die zweite die Forderung zu stellen, daß sie bekannt mache mit dem reichen Material der Physik nach den verschiedensten Seiten hin, ohne jedoch sich tief in das einzulassen, was vorzugsweise wissenschaftlichen Theorien dient. Diese Kenntniß kann aber nicht anders gewonnen werden, als durch Experimentiren mit den gebräuchlichen physikalischen Apparaten. Der Grundcharakter der **zweiten Stufe** ist daher **die Feststellung der physikalischen Thatsachen mit Hülfe zusammengesetzter Apparate.** Daß dabei nicht durch einen einzelnen Versuch eine Thatsache constatirt wird, sondern es nöthig ist, eine möglichst große Menge von Analogien oder verwandten Erscheinungen zu berücksichtigen, und daß erst so die Gewißheit über eine Thatsache erlangt wird und als Naturgesetz ausgesprochen werden darf, scheint kaum der Wiederholung zu bedürfen. Der Leitfaden befolgt deshalb die Anordnung, daß er in der Regel einen Versuch oder einen Apparat sammt den damit anzustellenden Experimenten beschreibt, darauf eine Reihe analoger Erscheinungen folgen läßt und dann erst die von mehreren Seiten festgestellte Thatsache als Gesetz ausspricht. Daß aber alle Versuche und Apparate, so sehr sie sich auch in den Vordergrund drängen möchten, nur als Mittel zur Erreichung des Zwecks, und die Gesetze als die Hauptsache anzusehen sind, ist durch eine stark hervortretende Stellung der letzteren und durch größeren Druck anzudeuten versucht worden. Diese äußeren Hülfsmittel sollen dem Auge Haltepunkte sein und dem Gedächtnisse mit unauslöschlichen Zügen einprägen, was, durch die Thätigkeit der Sinne und des Verstandes gewonnen, festgehalten sein will, damit bei Erklärung irgend einer neuen Erscheinung nicht gegen das verstoßen werde, worüber kein Zweifel mehr waltet. Das Gesetz aus der Hypothese wissenschaftlich abzuleiten, kann nach dem Vorhergehenden nicht als Aufgabe dieser Lehrstufe gelten; gleichwohl sind die wichtigsten Hypothesen kurz angedeutet und in historischer Weise berührt worden, weil die Zahl derer nicht gering sein möchte, die mit diesem Cursus ihre Bildung abschließen und sich dennoch gedrungen fühlen, in ein Feld einzudringen, das ihnen nur auf geschichtlichem Wege zugänglich sein dürfte.

Haben wir so den Umfang und das Verhältniß dieses zweiten Cursus zu dem darauf folgenden abzugrenzen versucht, so bleibt der Erörterung noch die Frage, auf welche Weise die mittlere Lehrstufe sich an die vorhergehende anschließe. Denn von ganz einfachen Versuchen bis zu verwickelten Experimenten und von den alltäglichsten Werkzeugen bis zu unseren complicirten Apparaten ist noch ein Sprung und offenbar ein nicht unbedeutender Schritt. Wollte sich nun Jemand daran machen,

diese Kluft auszufüllen, so würde dies Unternehmen entweder für Anmaßung und subjective Willkür erklärt werden müssen oder einem Mangel an Wissen zuzuschreiben sein. Denn jene Kluft ist längst ausgefüllt, und jenes Hinderniß ist längst aus dem Wege geräumt; wir haben ja jetzt die Apparate in ihrer vollkommneren Gestalt. Die Fundamentalversuche des Anschauungscursus müssen sich nämlich noch durch etwas Anderes, als durch Einfachheit und durch die Klarheit ihrer Beziehung auf die festzustellende Thatsache auszeichnen; es müssen, wo irgend möglich, gerade eben dieselben und keine anderen Versuche sein, welche die Begründer irgend einer physikalischen Lehre selbst angestellt, und auf welchen fortbauend sie oder Andere zu verwickelteren Versuchen oder Apparaten gelangt sind. Es ist die Geschichte selbst, welche jenen Uebergang von dem Einfachen zum Verwickelten vollzogen hat, und darin liegt die längst gefühlte Nothwendigkeit, daß der Charakter der mittleren Lehrstufe ein geschichtliches Gepräge an sich trage. Und zwar wird die geschichtliche Entwickelung durchweg sogleich mit dem Beginn jeder Lehre eintreten, weil sie die Brücke bildet von dem aus dem ersten Cursus Bekannten und geschichtlich zuerst Gegebenen zu dem jetzigen Zustande der Wissenschaft. Auch dürfte nur eine Stimme sein, falls die Frage aufgeworfen würde, ob die Sache durch solche historische Behandlung an Interesse gewinne oder nicht. Ist dies doch anerkannter Maßen die einzige Form, der es in physikalischen Vorträgen gelingt, das allgemein gebildete Bewußtsein zu fesseln. Kein Zweig der Physik zeigt aber eine so stufenmäßig fortschreitende Entwickelung und einen so streng methodischen Gang seiner Ausbildung, als die Lehren von der Elektricität und vom Magnetismus; es ist dies einer von den Gründen, die Anlaß gegeben haben, beide Lehren als erste Gruppe physikalischer Erscheinungen an den Anfang des Ganzen zu stellen. Wenn in der zweiten Gruppe die Erscheinungen der Anziehung und darunter die der chemischen Anziehung auftreten, so ist von Unkundigen mehrfach die Behauptung ausgesprochen worden, dies Alles gehöre ausschließlich in die Chemie; wollte man Chemie treiben, so möchte man auch überall besondere Lehrstunden für dieselbe festsetzen. Wir wollen dagegen nicht sagen, daß das leichter gesagt, als gethan sei; wir wollen auch nicht geltend machen, daß die im Dienste der Wissenschaft arbeitende Chemie nur ein Zweig der Physik gewesen und es auch bleibe in dem weiten Sinne, wie wir die Physik fassen und erklären; aber wir möchten doch fragen, wie es kommt, daß gerade die ausgezeichnetsten wissenschaftlichen Lehrbücher der neuesten Zeit, wie die von Koppe, Eisenlohr oder Ettinghausen, mehr aus der Chemie enthalten, als der Verfasser gegeben hat, und wir wären neugierig zu hören, wie man ohne chemische Kenntniß der Organogene, der Metalle und einiger Säuren die Zersetzungen durch den galvanischen Strom, den Verbrennungsproceß, die Anwendung des Wasserstoffs bei den Luftballons, überhaupt die Gase behandeln könne; der Verfasser

verzichtet ein für alle Mal auf solche Behandlung. Die dritte Gruppe endlich umfaßt die Naturerscheinungen, die durch Schwingungen entstehen, die des Schalles, des Lichts und der Wärme, und der Schluß versucht, die Mannichfaltigkeit der Naturerscheinungen auf wenige Grundkräfte zurückzuführen, damit dieser Cursus, der sonst Alles umfaßt, was dem Gebildeten aus der Naturlehre zu wissen Noth thut, auch Solchen die Naturbegebenheiten in einer wenigstens muthmaßlichen Einheit erscheinen lasse, deren Bildung mit ihm beendet ist.

Möge denn das Buch in dieser Form dazu beitragen, eine naturgemäße Behandlung des physikalischen Unterrichts zu verbreiten und zu fördern.

Brandenburg a. H., im August 1850.

Der Verfasser.

Vorrede zur zehnten Auflage.

Wenn es feststeht, daß in der Physik sowohl diejenigen Naturerscheinungen, welche für einen Jeden von Bedeutung sind, als auch diejenigen Instrumente, welche häufig gebraucht und wahrgenommen werden, vorwiegende Berücksichtigung verdienen, so scheint es keinem Zweifel zu unterliegen, daß nicht minder die Anfangsgründe der Maschinenkunde, als die bekanntesten musikalischen Instrumente derjenigen Lehrstufe angehören, für welche der vorliegende Leitfaden bestimmt ist. Es haben deshalb in der vierten Auflage sämmtliche Maschinenelemente eine Stätte gefunden, und die Aufgabe des Maschinenbaues, die Gliederung einer zusammengesetzten Maschine, die Hauptfunctionen der Zwischenmaschinen, sowie die Einrichtung einer Uhr und einer Mühle sind in gedrängter Weise dargelegt worden. Eben so schien es zweckmäßig, eine Besprechung der musikalischen Instrumente, so weit dieselben auf physikalischen Grundsätzen beruhen, hinzuzufügen. Die Paragraphenzahlen, deren Aenderung in der vierten Auflage, so große Uebelstände auch dadurch verursacht wurden, nicht länger zu vermeiden war, sind unverändert geblieben; zu den Figuren der vierten Auflage sind fünfzehn neue hinzugekommen, und alle sind neu gestochen.

Oranienburg, im Februar 1866.

Dr. Crüger.

Inhalts-Verzeichniß.

Erste Gruppe der Naturerscheinungen: **Magnetismus und Elektricität.**

§. Seite

I. **Der Magnetismus.**

II. **Die Reibungselektricität.**

III. **Der Galvanismus oder die Berührungselektricität.**

B. Wirkungen der Wärme.

a. Ausdehnung der Körper.

b. Strömungen in Wasser und Luft.

c. Das Schmelzen fester und das Verdampfen flüssiger Körper.

C. Die Verbreitung der Wärme.

Schluß.



Erste Gruppe.

Magnetismus und Elektricität.

I. Der Magnetismus.

§. 1.

Geschichte des Magnetismus.

Aus den Eisengruben bei der Stadt Magnesia, nicht weit von Smyrna, erhielten die Alten schwarze Steine, welche die merkwürdige Kraft besaßen, **Eisenstücke anzuziehen**, und Magnetsteine oder Magnete genannt wurden. Im Mittelalter schrieb man diesen Steinen wundersame Heilkräfte zu und erzählte sich die Fabeln von dem Magnetberge im Norden, der schon in meilenweiter Entfernung alles Eisen aus den sich nähernden Schiffen an sich ziehen sollte, und von dem eisernen Sarge Muhamed's, der in Medina zwischen zwei gewaltigen Magneten frei in der Luft schwebend gehalten werde. Erst wenige Jahrhunderte vor Columbus ward man im Abendlande mit der **Magnetnadel** bekannt, während die Chinesen sie längst gekannt, aber seltener zur See, häufiger zu Lande, auf ihren großen Reisen durch die Steppen Hochasiens, als Wegweiser gebraucht hatten. Genauer erforschte die durch Magnete hervorgebrachten Wirkungen im Jahre 1600 zuerst Gilbert, der Leibarzt der Königin Elisabeth von England, dem auch die Bereitung künstlicher Magnete wohlbekannt war.

§. 2.

Die magnetische Anziehung.

Ein Stückchen Eisendrath, das an einem dünnen Faden hängt, wird von einem ihm genäherten Magnet angezogen; Eisenfeilspäne bewegen sich zu ihm hin und haften an ihm mit merklicher Kraft; auf andere Körper dagegen, z. B. Holz, Glas, Kupfer, wirkt die Anziehungskraft des Magnets nicht. Wird ein Magnet an einem Faden lothrecht aufgehängt und ihm ein eiserner Schlüssel genähert, so bewegt sich der Magnet

gegen den Schlüssel zu; ein kleiner Magnet bleibt sogar an einem Eisenstück hängen. So ergiebt sich das Gesetz:

Ein Magnet und unmagnetisches Eisen ziehen sich gegenseitig an.

Angewandt wird die Anziehungskraft des Magnets, um zu erkennen, ob ein Körper Eisen enthält, und um Eisentheilchen, die unter edle Metalltheilchen gerathen sind, von diesen zu trennen.

Ein Stückchen Eisen wird von einem Magnet auch angezogen, wenn man zwischen beide ein Blatt Papier bringt; ein eiserner Ring wird von einem hinter einer Tapete versteckten oder in einem Futteral von dünner Pappe verborgenen Magnet getragen; eine Nähnadel auf einer Glasscheibe folgt der Bewegung eines dicht darunter hin und her geschobenen Magnets. Die Anziehungskraft des Magnets wirkt durch andere Körper hindurch.

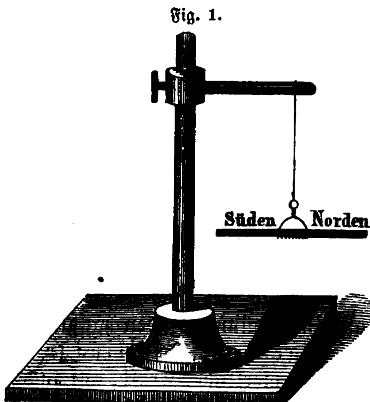
§. 3.

Die Pole eines Magnets.

1. Nähert man nach einander verschiedene Stellen eines Magnets einem hängenden Eisendrath, so wird er von der Mitte desselben gar nicht, von seinen beiden Enden am stärksten angezogen. Wird ein Magnet in Eisenfeilspäne gelegt, so haften viele derselben an den Enden, wenige an anderen Stellen. Ein Eisenstück von solchem Gewicht, daß es von einem Ende eines Magnets gerade noch getragen wird, wird von keiner andern Stelle desselben gehalten.

Die beiden Stellen eines Magnets, an welchen seine Anziehungskraft am stärksten ist, heißen seine **Pole**. Eine gerade Linie von dem einen Pol eines Magnets zu dem andern wird die Axe des Magnets genannt.

Fig. 1.



2. Nordpol und Südpol. Wird ein Magnet mitten zwischen seinen Polen so aufgehängt, daß er wagerecht schwebt und sich nach der rechten und linken Seite frei bewegen kann, so nimmt er eine bestimmte Richtung an und kehrt, wenn er angestoßen wird, in dieselbe zurück. Ein frei beweglicher Magnet richtet sich so, daß der eine Pol ungefähr nach Norden, der andere ungefähr nach Süden weist. Die Axe eines frei beweglichen Magnets giebt im Ganzen die Richtung von Norden nach Süden an.

Wegen dieser Richtungsfähigkeit des Magnets führt der eine Pol den Namen **Nordpol**, der andere den Namen **Südpol**.

§. 4.

Gegenseitige Anziehung und Abstoßung zweier Magnete.

Bringt man den Nordpol eines frei beweglich aufgehängten Magnets dem Südpol eines zweiten Magnets nahe, so zeigt sich zwischen beiden eine starke Anziehung; ebenso wird der Südpol des beweglichen Magnets von dem Nordpol des andern angezogen. Dagegen wird der Nordpol des hängenden Magnets von jedem andern magnetischen Nordpol abgestoßen; ebenso Südpol von Südpol. Nordpol und Südpol ziehen sich gegenseitig an; abgestoßen aber wird Nordpol von Nordpol und Südpol von Südpol. Da man zwei Nordpole gleichnamige Pole nennt und ebenso zwei Südpole, einen Nordpol aber und einen Südpol als ungleichnamige Pole bezeichnet, drückt man das Gesetz über das gegenseitige Verhalten zweier Magnete oder ihrer Pole, das **Gesetz der Polarität**, gewöhnlich so aus:

Gleichnamige Pole stoßen sich ab,
ungleichnamige ziehen einander an.

Anwendungen: Die magnetische Abstoßung giebt uns ein Mittel, zu finden, welches an einem magnetischen Stahlstab der Nordpol, und welches sein Südpol ist; der Nordpol liegt an dem Ende, welches den Nordpol eines hängenden Magnets abstößt. Ferner beruhen auf dem Gesetz über Anziehung und Abstoßung die magnetischen Spielwerke, magnetische Schwäne oder Fische, die einen kleinen Magnet im Munde tragen und durch eine magnetische Angel angezogen oder abgestoßen werden.

§. 5.

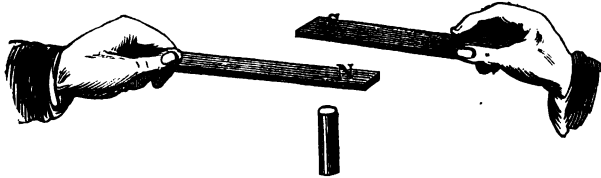
Das Vorhandensein von zwei entgegengesetzten Magnetismen.

1. Die beiden Magnetpole zeigen entgegengesetzte Wirkungen; erstlich wendet sich der Nordpol nach der Himmelsgegend, von der sich der Südpol wegwendet; zweitens stößt (nach §. 4) der eine Pol ebendasselbe ab, was der andere anzieht. Aus entgegengesetzten Wirkungen ist auf entgegengesetzte Kräfte zu schließen. Es müssen daher zwei magnetische Kräfte, **zwei Magnetismen**, in jedem Magnet vorhanden sein, von denen der **Nordmagnetismus** die nördliche Hälfte, der **Südmagnetismus** die südliche Hälfte des Magnets beherrscht. Da die Pole von ihnen regiert werden, so folgt aus der gegenseitigen Anziehung und Abstoßung der Pole, daß gleichnamige Magnetismen sich abstoßen, ungleichnamige einander anziehen.

2. Wenn von zwei gleich starken Magneten der eine mit seinem Nordpol ein Eisenstück trägt, so schwer es von ihm getragen werden kann, so läßt er dasselbe los, wenn der Südpol des andern Magnets in seine Nähe gebracht wird. Der Südmagnetismus des einen Magnets zieht den Nord-

magnetismus des andern an und hält ihn fest; beide fesseln oder binden einander durch ihre anziehende Kraft und machen sich gegenseitig unwirksam.

Fig. 2.



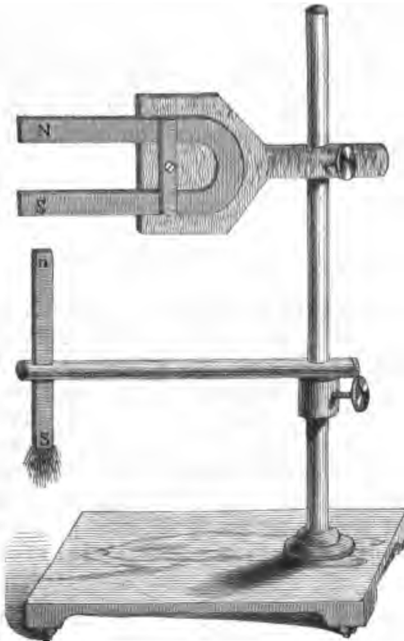
Zwei mit den ungleichnamigen Polen auf einander gelegte Magnete von gleicher Tragkraft können daher fast Nichts tragen, weil der eine Magnetismus die Wirkungen des andern aufhebt.

Gesetz: Bei der Vereinigung beider Magnetismen hebt der eine die Wirkungen des andern auf.

§. 6.

Die magnetische Vertheilung.

Fig. 3.



1. Ein Eisenstab, dessen eines Ende in die Nähe eines Magnetpols gebracht wird, zieht Eisenfeilspäne an; der Erfolg bleibt unverändert, wenn auch Magnet und Eisen durch eine Glasscheibe oder dünne Holzplatte getrennt werden. In der Nähe eines Magnets zeigt das Eisen magnetische Eigenschaften; entfernt man den Magnet, so ist das Eisen wieder ganz unmagnetisch. Hängt man an den Südpol eines Magnets einen Eisenstab und untersucht dessen Magnetismus, so hat er an dem vom Magnet entfernten Ende ebenfalls einen Südpol; eine Nadel aus Stahl oder hartem Eisen bleibt auch nach der Entfernung des Magnets magnetisch und hat oben, wo sie den Südpol berührte, einen Nordpol, an dem andern Ende einen Südpol. Die Erregung von Magnetismus in dem Eisen durch Annäherung eines Magnets nennt man die **magnetische Vertheilung.**

Da der Südmagnetismus des Magnets in dem ihm nahen Ende des Eisens Nordmagnetismus, und der Magnetismus eines Nordpols in seiner Nähe Südmagnetismus bewirkt, so gilt als

Gesetz der magnetischen Vertheilung: Jeder Magnetismus ruft in seiner Nähe den ungleichnamigen Magnetismus hervor.

2. Dem Eisen wird von einem nahen Magnet keineswegs Magnetismus mitgetheilt; denn erstlich hatte das weiche Eisen nach Entfernung des Magnets keine magnetische Kraft mehr; sodann lassen sich Eisenstücke beliebig oft an die Pole bringen, ohne daß diese an Kraft verlieren, was der Fall sein müßte, wenn sie von ihrer Kraft etwas mittheilten; drittens könnte das Eisen von einem Südpol nur Südmagnetismus, aber nicht beide Magnetismen mitgetheilt erhalten; endlich wird gerade in demjenigen Ende des Eisens, das den Südpol berührt, Nordmagnetismus hervorgerufen. Sind dem Eisen die Magnetismen aber nicht mitgetheilt, die es in der Nähe eines Magnets offenbart, so folgt über das ursprüngliche Vorhandensein von Magnetismus im Eisen das Gesetz:

In allem Eisen sind von Natur beide Magnetismen vorhanden.

Wie ein früherer Versuch (§. 5, 2) gelehrt hat, tritt der unmagnetische Zustand ein, wenn beide Magnetismen vereinigt und gleich stark sind. In dem unmagnetischen Eisen müssen daher beide Magnetismen in gleicher Stärke und in völliger Vereinigung vorhanden sein; der Nordmagnetismus hält durch seine anziehende Kraft den Südmagnetismus fest und gestattet ihm nicht, sich zu regen; ebenso wird aber auch der Nordmagnetismus von dem Südmagnetismus gleich einem Gefangenen gefesselt und gebunden gehalten. Der Pol eines genäherten Magnets wirkt als eine dritte, stärkere Macht und trennt die beiden Magnetismen, indem er den ungleichnamigen Magnetismus anzieht und den gleichnamigen abstößt; beide werden dadurch so vertheilt, daß in der einen Hälfte des Eisens der eine, in der andern der andere vorherrscht.

3. Wird von dem Südpol eines Magnets ein hängendes Eisenstück angezogen, so geht in diesem eine Vertheilung vor, bei welcher der Nordmagnetismus an den dem Magnet nahen Stellen erregt wird; das Eisen wird vorübergehend magnetisch, ehe es angezogen wird. Daher giebt es keine andere magnetische Anziehung, als zwischen entgegengesetzten Magnetismen.

§. 7.

Künstliche Magnete.

1. Magnetisiren des Stahls.

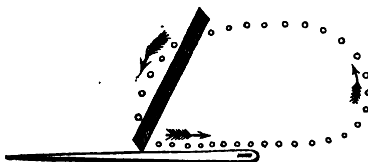
Stahl bleibt, wenn er der magnetischen Vertheilung ausgesetzt gewesen ist (nach §. 6, 1), dauernd magnetisch und setzt der Wiedervereinigung der Magnetismen einen Widerstand entgegen. Alle Stellen eines Stahlstabes

werden am vollständigsten der Vertheilung unterworfen, wenn man ihn mit einem Magnet streicht.

Stahl läßt sich durch Streichen mit einem Magnet dauernd magnetisch machen.

Beim **einfachen Strich** streicht man auf dem Stahlstabe jedes Mal nur mit einem Magnetpol, setzt diesen auf die Mitte des Stabes auf, streicht seine rechte Hälfte entlang, führt den Magnet nach rechts über deren Ende hinaus und bringt denselben Pol in weitem Bogen zurück auf die Mitte des Stabes. Dies Verfahren wird dreißig Mal wiederholt und darauf die linke Hälfte des Stahlstabes mit dem andern Magnetpol ebenso und ebenso oft gestrichen. Beim **Doppelstrich** setzt man beide Pole eines hufeisenförmigen Magnets auf die Mitte des Stahlstabes, streicht mit beiden Polen zugleich bis an sein eines Ende und, ohne den Magnet aufzuheben, zurück bis an sein anderes Ende; nach zwanzigmaligem Streichen von dem einen bis zum andern Ende wird der Magnet von der Mitte des Stabes aufgehoben.

Fig. 4.



2. Erhaltung und Vermehrung der magnetischen Kraft.

Die Stahlmagnete haben entweder die Gestalt eines geraden Stabes oder eines Hufeisens. Um ihre Kraft zu vermehren, giebt man sowohl künstlichen, als auch natürlichen Magneten ein Eisenstück, den sogenannten Anker, zu tragen, hängt an denselben eine Schale und thut in dieselbe täglich ein Schrotkorn mehr, wobei indeß das plötzliche Abreißen des Ankers von den Magnetpolen verhütet werden muß. Die Magnetsteine, die im Harz, im Erzgebirge, im Ural und in den Gebirgen Norwegens in großer Anzahl gefunden werden, versieht man mit einer Armatur, indem man an die Pole Eisenplatten befestigt; in den aus der messingenen Einfassung hervorragenden Enden oder Füßen derselben wirkt die Kraft der Pole in erhöhtem Maße; an die Füße wird der Anker gelegt. Eine Verbindung von mehreren mit ihren gleichnamigen Polen auf einander gelegten Magneten heißt ein **magnetisches Magazin** und wirkt wie ein einziger, sehr kräftiger Magnet.

Fig. 5.

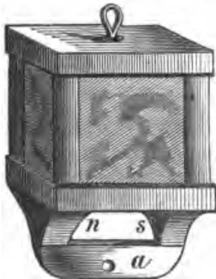
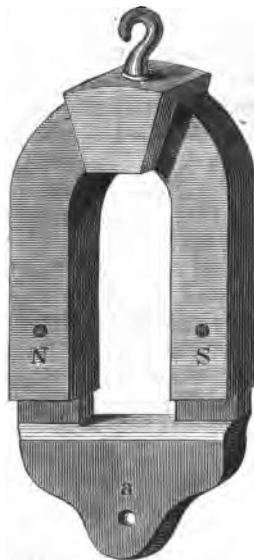


Fig. 6.

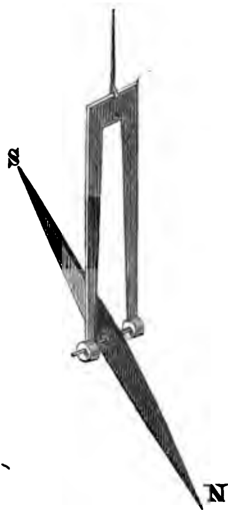


§. 8.

Der Erdmagnetismus.

1. **Vertheilung durch den Erdmagnetismus.** Richtet man eine drei Fuß lange Eisenstange, die sorgfältig ausgeglüht worden ist und in wagerechter Lage sich ganz unmagnetisch zeigt, in einer wenig von der senkrechten abweichenden Stellung nach der nördlichen Gegend der Erde, so stößt die Stange mit ihrem untern Ende den Nordpol einer wagerecht hängenden magnetisirten Nähnadel ab; von ihrem obern Ende wird der Südpol der Nadel abgestoßen. So haben auch die senkrechten Eisenstangen der Fensterkreuze an ihrem untern Ende einen Nordpol. In den Stangen ist eine magnetische Vertheilung vor sich gegangen, und diese ist durch eine Stelle der Erde, wie durch einen Magnetpol, bewirkt worden. **Die Erde wirkt wie ein großer Magnet, in dessen nördlichem Theile der Südmagnetismus und in dessen südlichem Theile der Nordmagnetismus vorherrscht.**

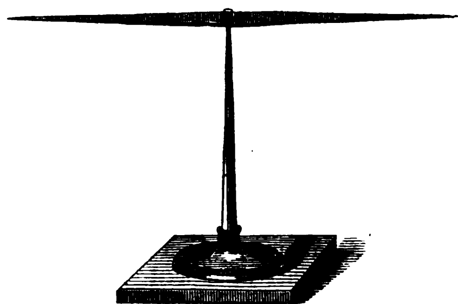
Fig 7.



2. **Inclination der Magnetnadel.** Ein Magnetstab, der sich um eine genau durch die Mitte seiner Länge und seiner Breite gehende wagerechte Axe drehen und sich frei nach oben und unten bewegen kann, heißt eine Inclinationsnadel und nimmt an zwei Stellen der Erde, den magnetischen Polen derselben, lothrechte Stellung an. Der im Norden gelegene Magnetpol der Erde ist im Jahre 1831 durch den Capitain John Roß nördlich von Amerika gefunden worden; der andere magnetische Pol der Erde liegt weit südwärts von der Ostküste Neuhollands. Bei uns stellt sich die Inclinationsnadel schräg gegen den Horizont und weicht um **67 Grad** von der wagerechten Richtung ab.

Die Abweichung der Magnetnadel von der wagerechten Richtung heißt ihre **Inclination.**

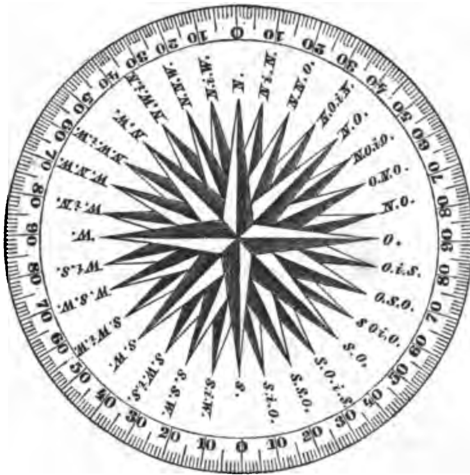
Fig. 8.



3. **Declination der Magnetnadel.** Die zur Auffindung der Himmelsgegenden dienende Magnetnadel ist ein dünnes, nach den Enden spitz zulaufendes Stahlblech, in dessen Mitte ein Messinghütchen eingesetzt ist, damit sie wagerecht und leicht beweglich auf einer Stahlspitze schwebe. Da der eine magnetische Pol der Erde nördlich von Amerika liegt, so zeigt die Magnetnadel in

einem Striche Nordamerika's genau nach Norden; bei uns aber auf die Mitte einer Windrose gestellt, weicht sie von der Mittagslinie ab und zeigt fast nach Nord-Nord-West. Die Abweichung der Magnetnadel von der Mittagslinie heißt die **Declination** derselben. Die Declination nach Westen beträgt bei uns **16 Grad**. Die für verschiedene Gegenden verschiedene Declination zu kennen, ist für die Schiffer beim Gebrauch des **Compasses**, dessen Hauptbestandtheile Magnetnadel und Windrose ausmachen, von der größten Wichtigkeit.

Fig. 9.



II. Die Elektricität.

§. 9.

Geschichte der Elektricität bis zur Entdeckung von Leitern und Nichtleitern.

Schon Thales, einer der sieben Weisen Griechenlands, wußte, daß der **Bernstein, wenn er gerieben wird, kleine Körper anzieht**, und diese Anziehungskraft des Bernsteins, der bei den Griechen Elektron hieß, wurde Elektricität genannt. Erst der Engländer Gilbert (§. 1) fand um das Jahr 1600, daß auch Glas, Schwefel und Harz durch Reiben anziehend werden; der hochgefeierte Bürgermeister zu Magdeburg, Otto von Guerike (§. 135), versah eine Schwefelkugel mit einem Handgriff, machte sie durch schnelles Drehen und Reiben an der hinangehaltenen Hand elektrisch und bemerkte, wie die von der Kugel einmal berührten Körperchen von ihr nachher **abgestoßen** wurden; der Doctor Wall erhielt sogar aus großen geriebenen Siegellackstangen knisternde **Funken.** Da beobachtete 1729 Stephan Gray, indem er eine mit Pfropfen verschlossene Glasröhre rieb, daß die anziehende Kraft sich auch den Pfropfen mittheilte; ja es gelang ihm, mittels einer von seidenen Fäden getragenen leinenen Schnur die Elektricität seiner Glasröhre mehrere Hundert Fuß weit bis zu einer Kugel fortzuleiten, so daß diese leichte Körper anzog; und dabei machte er die wichtige Entdeckung, daß **einige Körper die Elektricität fortleiten**, andere nicht.

§. 10.

Leiter und Nichtleiter der Elektricität.

Fig. 10.



Haben wir an einen seidenen Faden eine Papierscheibe gehängt und unten an diese eine zweite Scheibe durch einen leinenen oder Metallfaden befestigt, und theilen wir der untern Scheibe durch Berührung mit einer geriebenen Siegellackstange Elektricität mit, so wird ein Goldschaumstreifen von jeder Stelle des leinenen Fadens und von beiden Scheiben, aber nur von dem untersten Punkt des seidenen Fadens angezogen. Der leinene Faden und das Papier leiten die Elektricität, jedes ihrer Theilchen theilt sie dem nächsten mit; Seide aber ist ein Nichtleiter.

An den Leitern verbreitet sich die einem Punkt mitgetheilte Elektricität augenblicklich über die ganze Oberfläche derselben; die Nichtleiter dagegen behalten die Elektricität an der Stelle, welcher sie mitgetheilt ist. Ebenso verliert auch ein elektrisirter Nichtleiter die Elektricität nur an der einen Stelle, wo man ihn berührt; elektrisirte Leiter dagegen verlieren, wenn einer Stelle die Elektricität genommen wird, sogleich ihre ganze Elektricität.

Die besten **Leiter** sind: Metall, Kohle, die Körper der Thiere und Menschen, Wasser und Dämpfe.

Die besten **Nichtleiter** sind: Glas, Schwefel, Harz, Guttapercha, Siegellack, Seide und trockne Luft.

Will man einen Körper gegen den Verlust der ihm mitgetheilten Elektricität sichern, so muß man ihn **isoliren,** d. h. ihn nur mit Nichtleitern in Berührung bringen; dazu läßt man ihn bei trocknem Zustande der Luft von Glassäulen tragen, oder hängt ihn an rein seidenen Schnüren auf; bei feuchter, an leitenden Wasserdämpfen reicher Luft mißlingen elektrische Versuche.

§. 11.

Geschichte der Elektricität bis zum Bau der Elektrisirmaschine.

Nach der Entdeckung von Leitern und Nichtleitern isolirte der Abt Nollet sammt seinem Freunde, dem Gartendirector Du Fay zu Paris, Thiere und Menschen in seidenen Hängematten, elektrisirte sie und zog aus ihnen zollange Funken. Stephan Gray isolirte statt dessen einen Metallkörper und erfand so den **Conductor** oder Hauptleiter der Elektrisirmaschine. Darauf bauten 1743 Hausen und Winckler zu Leipzig die erste vollständige Elektrisirmaschine.

Jede **Elektrisirmaschine** hat drei Haupttheile: den geriebenen Körper, das Reibzeug und den Conductor. Der **geriebene Körper** ist eine Kugel, ein Cylinder oder eine Scheibe von Glas und läßt sich mittels einer Kurbel drehen. Das **Reibzeug** besteht aus weichen, seidenen Kissen, die durch Federn gegen den geriebenen Körper gedrückt werden und mit einer Metallmischung aus Zinn, Zink und Quecksilber, dem Kienmayer'schen Amalgam, eingerieben sind; an der Seite, wohin der geriebene Körper gedreht wird, sind an dem Reibzeug Stücke Seidenzeug angebracht, welche

die Verbreitung der Elektricität hindern sollen. Das Reibzeug, das häufig von einer Metallkugel getragen wird, muß durch eine herabhängende Kette in

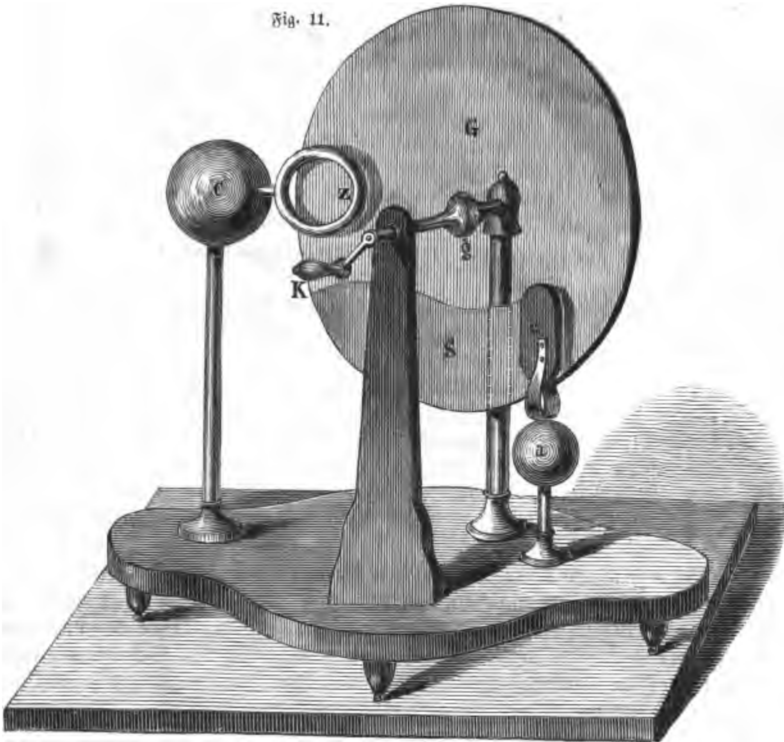


Fig. 11.

leitende Verbindung mit dem Erdboden gesetzt werden. Der **Conductor** ist eine durch Glassäulen isolirte Metallkugel oder ein an beiden Enden durch Halbkugeln verschlossener Metallcylinder und hat ein Paar Zuleitungsringe in der Nähe des geriebenen Körpers, in welche die Elektricität desselben einströmt.

§. 12.

Wirkungen der Elektrisirmaschine auf unsere Sinne.

Nähert man dem Conductor einen Theil des Körpers, so hat man zuerst ein Gefühl, als ob man Spinngewebe berührte; bei weiterer Annäherung aber springt mit hörbarem Geräusch ein knisternder Funke über, der einen unbedeutenden stechenden Schmerz verursacht. Eine gleiche Empfindung hat man, wenn man sich auf dem **Isolirschemel**, einem Brette, das auf Glasfüßen ruht, elektrisiren und aus sich Funken ziehen läßt. Ganz in der Nähe der Maschine verbreitet sich ein phosphorähnlicher Geruch, und man bekommt einen säuerlichen Geschmack, wenn man die Elektricität durch eine an den Conductor befestigte Spitze gegen die Zunge strömen läßt.

§. 13.
Erscheinungen elektrischer Anziehung.

Eine leichte Markkugel an einem leinenen Faden wird von dem Conductor in fußweiter Entfernung angezogen; die elektrische Nadel, eine leichte Metallnadel, die sich auf einer Spitze frei bewegen kann, wendet sich dem Conductor zu; geschmolzener Siegellack wird unter ihm zu feinen Fäden ausgesponnen. Gewöhnliches Schreibpapier wird sogar, wenn man es auf dem Ofen oder über einer Lampe erwärmt und dann mit Gummi reibt, so elektrisch, daß es von der Hand angezogen wird oder an der Wand hängen bleibt. Aus diesen Versuchen geht vorläufig hervor:

Ein elektrischer und ein unelektrischer Körper ziehen sich gegenseitig an.

§. 14.
Erscheinungen elektrischer Abstoßung.

Fig. 12.



Zwei neben einander vom Conductor herabhängende Sonnenblumenmarkkugeln oder zwei feine Papierstreifen bilden **das elektrische Pendel**; indem sie beim Drehen der Scheibe auseinander fahren, thun sie dar, daß

zwei gleich elektrische Körper sich abstoßen.

Ebenso gehen zwei Streifen von besonders zubereitetem, **elektrischem Papier** oder von dünner Guttapercha auseinander, wenn man sie mit der Hand reibt; ja wenn man einen Streifen von **gewöhnlichem Papier** der Länge nach in zwei schmalere Streifen zerschneidet, die oben noch zusammenhängen, sie erwärmt und mit Gummi reibt, so stoßen die schmalen Streifen sich gegenseitig ab. **Ein Büschel von gesponnenem Glase** entfaltet auf dem Conductor seine Fäden strahlenartig nach allen Seiten. Wasser, das aus einem an dem Conductor hängenden Trichter durch eine sehr feine Oeffnung fließt, zertheilt sich, indem die Wassertheilchen sich abstoßen, in einen feinen **elektrischen Regen.** Auf dieser Abstoßung gleich elektrischer Körper beruhen die **Elektrometer,** Werkzeuge, um kleine Mengen von Elektricität zu entdecken oder ihre Stärke zu schätzen; beim **Goldblättchen-Elektrometer** (Fig. 12) hängen in einem Glasgefäße an einem Drathe zwei Streifen Blattgold neben einander, ihr Auseinandergehen zeugt von dem Vorhandensein von Elektricität. Das **Henly'sche Elektrometer,** welches auf den Conductor

der Elektrisirmaschine gesteckt wird, um die Stärke seiner Elektricität anzuzeigen, besteht aus einer Metallsäule und einem eingetheilten Halbkreise von Glas, an dem ein von seinem Mittelpunkte herabhängender Zeiger desto höher hinaufsteigt, je mehr er beim Zunehmen der Elektricität von der Metallsäule abgestoßen wird.

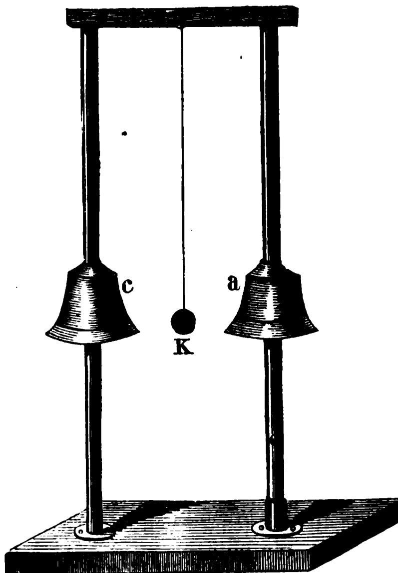
§. 15.

Erscheinungen elektrischer Anziehung und Abstoßung.

Fig. 13.



Fig. 14.



Ein leichter Körper zwischen einem nicht isolirten Gegenstand und dem Conductor muß zuerst von diesem angezogen, dann von ihm abgestoßen und zugleich von dem unelektrischen Körper angezogen werden; hat er diesen berührt und dadurch seine Elektricität verloren, so wird er von Neuem angezogen und abgestoßen und muß sich darum hin und her bewegen. Daher wird **der elektrische Ball**, eine leichte Kugel an einer isolirten Feder (Fig. 13) zwischen einer isolirten elektrischen Kugel, die mit dem Conductor verbunden ist, und einem unelektrischen Metallknopf auf und nieder bewegt. Beim **elektrischen Kugeltanz** hüpfen in einem Glascylinder, der oben und unten durch Metallplatten verschlossen ist, Markkugeln hinauf zu der oberen, mit dem Conductor leitend verbundenen Platte und wieder hinab zu der untern, die mit der Erde in leitender Verbindung steht. Beim **elektrischen Puppentanz** tanzen leichte Puppen aus Hollundermark zwischen einer elektrischen und einer unelektrischen Metallscheibe. In ähnlicher Weise besteht das **elektrische Glockenspiel** (Fig. 14) aus zwei Glocken, von denen die eine unelektrisch bleibt, während die andere mit dem Conductor in leitende Verbindung gesetzt wird; zwischen beiden Glocken hängt an einem isolirenden seidenen Faden eine Metallkugel, welche zuerst von der elektrischen, dann von der unelektrischen Glocke angezogen wird und bald an die eine, bald an die andere schlägt.

§. 16.

Das Ausströmen der Elektricität aus Spitzen.

Zwei gleich elektrische Körper stoßen sich darum ab, weil alle Theilchen derselben Elektricität sich feindselig abstoßen und von einander zu entfernen suchen. Schon an einem länglichen Conductor begeben sie sich vorzugsweise an seine beiden Enden, und er zeigt sich hier am stärksten elektrisch. Wird aber an den Conductor noch eine **Drathspitze** befestigt, so **strömt die Elektricität** an derselben **aus**, und der Conductor wird unelektrisch. Durch die ausströmende Elektricität wird eine der Spitze genäherte Lichtflamme zur Seite geblasen und das leicht bewegliche Schaufelrad der elektrischen Mühle in Bewegung gesetzt. Die elektrische Sichel ist ein Messingdrath mit scharfen Spitzen in der Form eines lateinische S und hat gleich der Magnetnadel in der Mitte ein kleines Hütchen, mit dem sie auf einer feinen Metallspitze ruht; aus den Drathspitzen strömt die Elektricität in die Luft aus, die Luftthеilchen werden gleich elektrisch mit der Sichel, stoßen sie darum ab und bewegen sie rückwärts.

§. 17.

Elektrische Lichterscheinungen.

1. Das elektrische Licht zeigt sich entweder als Funke, oder als eine Menge von Strahlen. **Funken** erhält man, wenn man dem Conductor irgend einen Leiter so nahe bringt, daß die Elektricität die nichtleitende Luft zu durchbrechen vermag. Ueberhaupt lehren die Versuche:

Ein elektrischer Funke erscheint überall, wo Elektricität von einem Leiter über einen Zwischenraum hinweg zu einem andern Leiter überspringt.

Klebt man auf eine Glasröhre ringsherum in einer Schlangenlinie kleine Stückchen von Staniol (gewalztem Zinn), die durch Zwischenräume von einander getrennt sind, so zeigen sich im Finstern alle Unterbrechungsstellen der Leitung erleuchtet, und man sieht auf diesen Schlangenstäben eine glänzende Schlangenlinie. Ebenso zeigt die Blitztafel, eine mit Metallspänen belegte Glastafel, eine blitzähnliche Linie durch Funken illuminirt; man kann eine elektrische Illumination von Namen hervorbringen, indem man die Buchstaben in Staniol ausschneidet, dann in viele kleine Stückchen zerschneidet und, indem man sie auf eine Glasscheibe klebt, die Buchstaben wieder so zusammensetzt, daß die einzelnen Stückchen durch Zwischenräume getrennt werden.

2. Beim Ausströmen von Elektricität aus Spitzen zeigen sich an denselben in einem dunklen Zimmer meist violette, **elektrische Lichtstrahlen**; und wenn man eine Glasröhre an beiden Enden mit Metallplatten verschließt, mittels der Luftpumpe luftleer macht und die eine Platte mit dem Conductor, die andere mit dem Erdboden leitend verbindet, so strömt die Elektricität in der Röhre von der einen Metallplatte zur andern und bildet im Finstern schöne, purpurfarbene Lichtbogen, das elektrische Nordlicht.

§. 18.

Die Wärme des elektrischen Funkens.

Großes Aufsehen machte es, als man bald nach Erfindung der Elektrisirmaschine zu Berlin erwärmten Spiritus in einer Metallschale durch den elektrischen Funken **entzündete**; später fand man, daß auch Harzstaub und noch leichter Schwefeläther, ebenso ein Gemenge von chlorsaurem Kali und Schwefelantimon sich durch den Funken entzünden lassen.

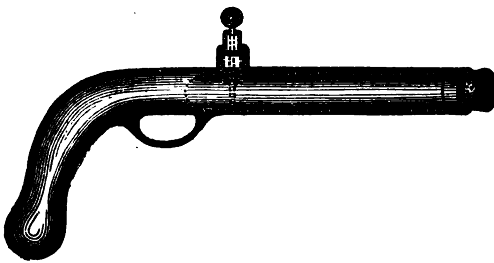


Fig. 15.

Mittels des elektrischen Hauses stellte man nun das Einschlagen des Blitzes dar, indem man leicht entzündliche Stoffe im Innern des Häuschens durch den Funken in Brand setzte. Und die **elektrische Pistole**, in welcher der Funke von einem ringsum isolirten Metalldrath auf eine Stelle im Lauf der Pistole überspringt, lud man mit Knallgas (§. 57, 3), einer leicht entzündlichen Luftart, und schoß sie durch den elektrischen Funken ab.

§. 19.

Entdeckung der beiden entgegengesetzten Elektricitäten.

Anfangs glaubte man, zwei elektrische Körper müßten sich immer abstoßen; da elektrisirte Du Fay zu Paris ein Kügelchen an einem seidenen Faden durch eine geriebene Harzstange, fand zu seinem Erstaunen, daß es nun von einer geriebenen Glasröhre stark angezogen wurde, und entdeckte so **das Vorhandensein von zwei Elektricitäten.** Man hat

die eine **Glaselektricität oder positive,**
die andere **Harzelektricität oder negative** Elektricität

genannt. Als man späterhin im Finstern einen mit einer Spitze versehenen Conductor durch eine geriebene Harzplatte elektrisirte, fand man, daß beim

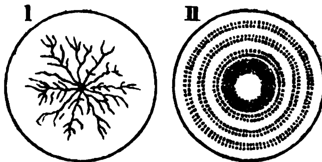


Fig. 16.

Ausströmen von Harzelektricität sich nur ein Stern zeigte, während das Ausströmen der Glaselektricität in Strahlen geschieht. Lichtenberg ließ auf eine Harzplatte einen Funken Harzelektricität überspringen und bestreute die Stelle mit feinem Harzstaub; da lagerte sich der Staub zu kreisrunden Figuren (Fig. 16, II); bei der Glaselektricität bildeten sich wieder strahlenartige Figuren (Fig. 16, I).

§. 20.

Gegenseitiges Verhalten der beiden Elektricitäten.

Schon aus Du Fay's Versuch folgt das Gesetz:

1. Gleichartige Elektricitäten stoßen sich ab, ungleichartige ziehen einander an

und streben, sich mit einander zu vereinigen.

Ladet man ein Elektrometer mit Glaselektricität, ein gleiches Elektrometer mit ebenso viel Harzelektricität und bringt nun beide in Berührung mit einander, so zeigen sie nachher gar keine Elektricität. Daraus ergiebt sich:

2. In ihrer Vereinigung halten beide Elektricitäten sich gegenseitig fest, so daß bei gleicher Stärke keine sich wirksam zeigen kann.

Die Vereinigung, wodurch beide Elektricitäten unwirksam werden, kann sowohl durch unmittelbare Berührung, als durch einen überspringenden Funken geschehen.

§. 21.

Die vertheilte Elektricität.

1. Nähert man eine elektrisirte Siegellackstange einem unelektrischen, isolirten Metallcylinder, doch nur so weit, daß kein Funke, also auch keine Elektricität in ihn gelangen kann, so wird der Metallcylinder durch die bloße Nähe des Siegellacks elektrisch, und zwar zeigt das dem negativ elektrischen Siegellack nahe Ende des Metallcylinders positive, das von ihm entfernte Ende negative Elektricität. Der ganze Cylinder zeigt sich aber unelektrisch, wenn man den Siegellack entfernt. — Nähert man ihn noch ein Mal, nimmt dem Metall durch Berührung mit der Hand die negative Elektricität weg und entfernt es nun wieder von der elektrischen Siegellackstange, so zeigt der Metallcylinder positive Elektricität.

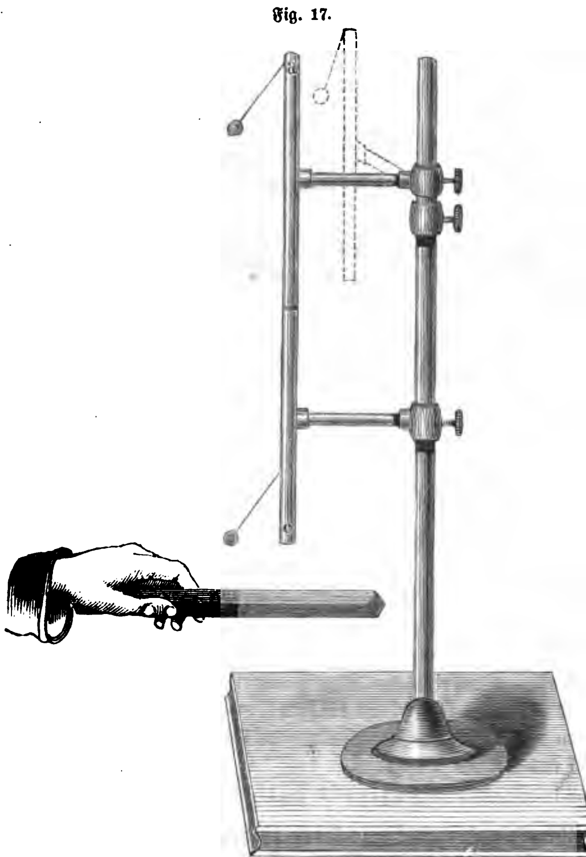
Die durch die Nähe eines elektrischen Körpers hervorgerufene Elektricität nennt man vertheilte Elektricität; aus den beschriebenen Versuchen folgt zuerst als Gesetz der elektrischen Vertheilung:

Jede Elektricität bewirkt in ihrer Nähe ein Herbeiströmen der entgegengesetzten Elektricität.

2. Da ferner der Metallcylinder von außen her keine Elektricität empfangen hat und doch beide Elektricitäten zeigt, so muß er in sich von Natur beide Elektricitäten enthalten. Dasselbe gilt von allen Leitern, weil sich mit ihnen derselbe Versuch anstellen läßt. Auch in Nichtleitern werden in der Nähe des elektrischen Conductors ihre beiden Elektricitäten offenbar, aber so, daß auf eine negativelektrische Stelle eine positive, darauf

wieder eine negative und eine positive in mehrfachem Wechsel folgen. Somit ergiebt sich über das Vorhandensein natürlicher Elektricität das Gesetz:

In jedem Körper sind von Natur beide Elektricitäten vorhanden.


Fig. 17.

Beide Elektricitäten sind gleich stark; die eine stößt ab, was die andere anzieht, hebt deren Wirkungen auf und hält sie in unwirksamem, gebundenem Zustande. Durch Reiben werden beide von einander getrennt, und die eine häuft sich an dem geriebenen Körper an, während die andere Elektricität sich im Reibzeug ansammelt.

3. Wird eine Kugel an einem leinenen Faden vom Conductor angezogen, so geht in ihr zuvor eine Vertheilung vor, bei der die positive Elektricität abgestoßen wird und hinwegströmt und die negative in der Kugel bleibt; ein Körper wird daher elektrisch, ehe er von einem elektrischen Körper angezogen wird. Demnach giebt es keine andere elektrische Anziehung, als zwischen entgegengesetzten Elektricitäten.

§. 22.

Der Elektrophor.

1. Auf der Vertheilung der Elektricität beruht der **Elektrophor**, der sehr leicht herzustellen ist und bei vielen Versuchen die Stelle einer Elektrisir-

maschine vertreten kann. Man nimmt eine runde Blechscheibe, die etwas über einen Fuß im Durchmesser hat, mit einem fingerbreiten, aufrecht stehenden Rand, ebenfalls von Blech. In diese Form gießt man eine geschmolzene Mischung von 1 Theil Schellack und 4 Theilen Colophonium und läßt die Masse erkalten, worauf sie einen Harzkuchen mit glatter Oberfläche bilden wird. Dieser Kuchen wird durch Reiben mit Pelz, gewöhnlich mit einem Fuchsschwanz, elektrisch gemacht. Setzt man nun den Deckel, eine etwas kleinere Metallplatte mit einem gläsernen Handgriff oder drei seidenen Schnüren, auf den Kuchen, so erhält sich in ihm die Elektricität oft mehrere Wochen lang; daher sein Name Elektrophor, d. h. Elektricitätsträger.

Fig. 18.



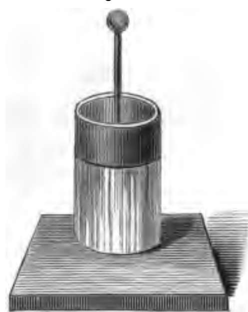
2. Die negative Elektricität des Kuchens vertheilt die des Deckels, zieht seine positive an und stößt seine negative ab. Berührt man daher den aufliegenden Deckel, so erhält man einen Funken und nimmt die negative Elektricität weg; hebt man nun den Deckel an dem isolirenden Griffe auf und berührt ihn dann, so giebt er einen noch lebhafteren Funken und zwar von positiver Elektricität. Das Aufsetzen und Abheben des Deckels läßt sich oft wiederholen, ohne daß der Kuchen, dem ja keine Elektricität genommen wird, von Neuem gerieben zu werden braucht.

§. 23.

Die Verstärkungsflasche.

1. Die Verstärkungsflasche wurde 1745 von dem Domherrn von Kleist zu Cammin in Pommern und gleichzeitig durch einen Privatmann Cunäus in Leyden entdeckt, die warmes Wasser in einem Glase elektrisirten und, als sie zufällig den im Wasser stehenden Drath berührten, einen hellglänzenden weißen Funken und einen erschütternden Schlag erhielten. Indem sodann der Nordamerikaner Franklin eine Glasscheibe auf beiden Seiten bis auf einen frei bleibenden Rand mit Metallplatten belegte, erfand er die Franklin'sche Tafel und gab nun auch der Verstärkungsflasche ihre jetzige Gestalt, indem er ein hohes Trinkglas inwendig und auswendig bis auf den obern, frei bleibenden

Fig. 19.



Rand mit Staniol belegte und einen Metalldrath mit einem Knopf hineinstellte, der zur innern Belegung gehört.

2. Um die Flasche zu **laden,** faßt man sie auswendig an und läßt auf den Knopf derselben aus dem Conductor der Elektrisirmaschine oder dem Deckel des Elektrophors eine Anzahl Funken überspringen. Wird so der innern Belegung einer Verstärkungsflasche positive Elektricität mitgetheilt, so wirkt diese anziehend durch das Glas hindurch; dadurch strömt der äußern Belegung aus dem Erdboden negative Elektricität zu, und

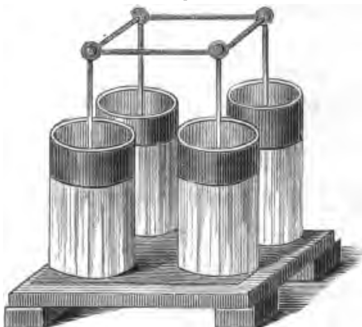
die auf den beiden Belegungen der Verstärkungsflasche angehäuften entgegengesetzten Elektricitäten streben sich zu vereinigen.

3. Berührt man mit einer Hand die äußere Belegung und mit der andern den Knopf der innern Belegung, so nehmen die sich vereinigenden Elektricitäten den Weg durch den menschlichen Körper, und man fühlt einen erschütternden **elektrischen Schlag,** hauptsächlich in den Gelenken. Wenn mehrere Personen einen Kreis bilden, indem sie sich die Hände geben, und die erste die Flasche an ihrer äußern Belegung hält, die letzte den Knopf berührt, so fühlen alle den elektrischen Schlag in demselben Augenblicke. Will man die Verstärkungsflasche entladen, ohne den Schlag zu erhalten, so bedient man sich des **Ausladers,** eines halbkreisförmig gebogenen Drathes, dessen Enden mit Kugeln versehen sind, legt die eine Kugel an die äußere Belegung und bringt die andere an den Knopf der Verstärkungsflasche. Man kann eine Verstärkungsflasche, ohne einen Schlag zu erhalten, auch **allmählich entladen,** wenn man sie auf den Tisch setzt und, ohne die äußere Belegung zu berühren, nach einander viele kleine Funken aus dem Knopfe zieht, oder indem man die Flasche isolirt und abwechselnd aus der innern und der äußern Belegung Funken zieht.

§. 24.

Die elektrische Batterie.

Fig. 20.



Eine sehr große Verstärkungsflasche, oder auch eine Zusammenstellung von Verstärkungsflaschen, die in einem Kasten mit metallenem Boden stehen, während die Knöpfe ihrer inneren Belegungen durch Dräthe verbunden sind, nennt man eine **elektrische Batterie.** Die Schläge einer großen Batterie sind von furchtbarer Stärke; Holzplatten und Pappscheiben, nicht selten ein ganzes Spiel Karten werden davon durchbohrt, und mit Wasser gefüllte Glasröhren gesprengt. Pulver wird durch den Funken einer Batterie entzündet; dünner Eisendrath wird glühend und in geschmolzenen Kügelchen umhergeworfen; Gold wird

in Glas eingeschmolzen. Vögel und andere kleine Thiere werden augenblicklich getödtet, während der Schlag einer Batterie bei Menschen Blutspeien oder Lähmungen zur Folge haben kann.

§. 25.

Entdeckung der Elektricität in den Gewitterwolken.

Nachdem man die starken Wirkungen der elektrischen Batterie kennen gelernt hatte, unternahm es Franklin, seine Vermuthung zu beweisen, daß

das Gewitter eine elektrische Erscheinung

und der Blitz ein mächtiger elektrischer Funke sei. Im Jahre 1752 ließ er, als ein Gewitter drohte, einen papiernen Drachen steigen, band unten an seine leinene Schnur einen Schlüssel und zog daraus elektrische Funken; im nächsten Jahre brachte er an seinem Hause eine hohe, isolirte Metallstange an und setzte ihr unteres Ende in leitende Verbindung mit einem elektrischen Glockenspiel, dessen Glocken ertönten, so oft die Elektricität der Luft stark genug war. Dadurch, daß der Blitz eine solche isolirte Metallstange traf, verlor Richmann zu Petersburg sein Leben; der Franzose De Romas aber wiederholte die Versuche mit dem Drachen, durchflocht die Schnur desselben mit Drath und hielt diesen mittels einer seidenen Schnur; beim Herannahen eines Gewitters wurden von dem Drath Strohhalme drei Fuß hoch angezogen, und laut knallende, mehrere Fuß lange Funken sprangen gegen die Erde.

§. 26.

Die Entstehung der Luftelektricität.

Auf welche Weise die im Gewitter sich kundgebende Elektricität erregt wird, ist bis jetzt noch nicht ermittelt worden.

Früher glaubte man, in der Verdunstung des Wassers in Meeren und Flüssen (§. 197 und §. 199) die Ursache der Luftelektricität suchen zu müssen. Dagegen haben neuere Versuche bewiesen, daß der aus salzigem Wasser aufsteigende Dampf nur dann elektrisch wird, wenn die Flüssigkeit in einem Metallgefäße kocht und entweder sie selbst beim Aufwallen oder der Dampf beim Ausströmen sich an den Wänden des Gefäßes reibt. Der bei geringer Wärme sich bildende Dampf zeigt keine Spur von Elektricität. Einige suchen in dem Pflanzenwuchs, Andere vermuthen in einer schnell stattfindenden Wolkenbildung die Ursache der Luftelektricität.

Der Bildung einer Gewitterwolke pflegt in unsern Gegenden bei heiterem Himmel große Hitze vorherzugehen und bei der eintretenden Windstille drückend zu werden. An irgend einer Stelle der Atmosphäre bildet sich dann eine niedere, dichte Wolke; der früher völlig heitere Himmel bedeckt sich ringsum mit einer Anzahl vielfach zerrissener Wolken, die sich hin und her bewegen und zu einer düstern Gewitterwolke vereinigen. Ein losbrechender Sturmwind ist der letzte Vorbote des heraufziehenden Gewitters.

§. 27.

Der Blitz.

Der Blitz ist ein großer elektrischer Funke.

Wegen seiner ungemein schnellen Bewegung erleuchtet der elektrische Feuerball seine ganze Bahn, und dieser Weg des Blitzes ist zickzackförmig, weil derselbe die Luft so zusammenpreßt, daß sie ihn mehrmals nöthigt, von seinem früheren Wege seitwärts abzuspringen. Der Blitz trifft meistentheils hohe Gegenstände und folgt dabei den Körpern, welche die Elektricität am besten leiten; schlechte Leiter werden beim Einschlagen zertrümmert, zu dünne Leiter geschmolzen und brennbare Körper entzündet.

§. 28.

Der Donner.

Der Donner ist im Großen dasselbe, wie das Knistern, das den kleinsten elektrischen Funken begleitet; er entsteht dadurch, daß der Blitz weite Lufträume durchbricht, die Luft hinter sich ausdehnt und vor sich zusammenpreßt. Wir hören den Donner später, als wir den Blitz sehen, weil der Schall sich viel langsamer fortpflanzt, als das Licht (vergl. §. 141 und §. 153); je mehr Zeit daher zwischen Blitz und Donner verfließt, desto länger ist der Weg gewesen, den der Schall bis zu unserm Ohr zurückgelegt hat, und desto entfernter ist das Gewitter. Wenn der Blitz aus der uns nahen Gewitterwolke einschlägt, so hört man den Donner als einfachen Donnerschlag. Durcheilt aber der Blitz einen langen, weiten Weg, auf welchem er bei jedem Abspringen oder jedem Absatz seiner zickzackförmigen Bahn einen neuen Donnerschlag hervorbringt, so vernehmen wir eine Reihe auf einander folgender Schläge, oder wir hören den Donner rollen.

§. 29.

Der Blitzableiter.

Die vornehmste **Vorsichtsmaßregel beim Gewitter** ist, sich von hohen und von gutleitenden Gegenständen möglichst fern zu halten, sich daher nicht unter Thürme oder einzeln stehende Bäume zu stellen und in den Häusern nicht in die Nähe größerer Metallmassen oder des Schornsteins, dessen Ruß und Rauch sehr gute Leiter sind.

Franklin kam auf den Gedanken, dem einschlagenden Blitze den Weg, den er nehmen soll, durch eine gute Leitung vorzuzeichnen, und erfand den **Blitzableiter.** Man nimmt dazu eine etwa 20 Fuß lange Eisenstange (Auffangestange), die auf den höchsten Theilen des Gebäudes aufgestellt wird, und leitet von ihr einen Eisenstreifen (die Ableitungsstange) zuerst außen an den Mauern des Gebäudes hinab und dann etwas entfernt von demselben tief in den feuchten Erdboden. Schlägt der Blitz nun auch wirklich ein, so folgt der elektrische Strom dem metallenen Leiter, ohne dem Gebäude Schaden zu thun. Ein guter Blitzableiter schützt auf jeder Seite

noch Gegenstände, die von ihm doppelt so weit entfernt sind, als seine Spitze die höchsten Theile des Gebäudes überragt.

§. 30.
Die elektrischen Fische.

Einige Fische, nämlich der Zitteraal, der Zitterrochen und der Zitterwels, haben die Kraft, elektrische Schläge zu ertheilen. Der **Zitteraal**, von schöner, olivengrüner Farbe, lebt in den Gewässern Südamerika's und vermag Menschen und große vierfüßige Thiere zu lähmen oder zu betäuben und zu Boden zu werfen. Der **Zitterwels** hat einen breit gedrückten Kopf und graue Farbe und findet sich in den Flüssen Afrika's. Am genauesten kennt man den **Zitterrochen**, der im Mittelländischen Meere häufig angetroffen und z. B. in Neapel zum Kauf ausgeboten wird; er ist rothgelb mit blauen, schillernden Flecken, sein elektrisches Organ liegt in der Nähe des Kopfes und besteht aus lauter Zellen, ähnlich den Bienenzellen, und es ist sogar gelungen, durch Dräthe aus ihm Funken zu ziehen.

III. Der Galvanismus oder die Berührungselektricität.

§. 31.
Entdeckung des Galvanismus.

Bis zum Ende des vorigen Jahrhunderts kannte man nur die durch Reibung oder beim Gewitter entstehende Elektricität. Da entdeckte **Galvani**, ein Arzt zu Bologna, im Jahre 1790 eine andere Art der Elektricität, die ihm zu Ehren **Galvanismus** genannt wird. Galvani hatte seiner Gemahlin, um sie von einem lästigen Husten zu befreien, eine Froschsuppe verordnet und stellte, während einer seiner Gehülfen die Frösche zubereitete, Versuche mit einer Elektrisirmaschine an. Plötzlich ward die aufmerksame Stille seiner Zuhörer durch einen Ausruf des Staunens unterbrochen; die todten Frösche zeigten Spuren von neuem Leben und waren in die lebhaftesten Zuckungen gerathen. Galvani's Frau bemerkte, daß dieselben erfolgten, so oft aus der Elektrisirmaschine ein Funke gezogen ward; sicherlich waren also diese Zuckungen Wirkungen der Elektricität, wie ja auch die Verstärkungsflasche Erschütterungen hervorbringt. Nun wollte Galvani sehen, ob auch die Elektricität der Luft dieselben Erscheinungen bewirke, befestigte an die Frösche einen Kupferdrath und hängte sie mit demselben einstweilen an das eiserne Gitter seines Gartens, und sogleich erfolgten die heftigsten krampfartigen Zuckungen. Und doch zeigte sich die Luft durchaus unelektrisch; darum glaubte Galvani, wie bei den elektrischen Fischen, käme die Elektricität aus den Fröschen selbst; er fand auch bei vielen andern Thieren ähnliche Zuckungen und stellte die damals viel bewunderte Lehre auf, alle lebendigen Geschöpfe seien, wie eine Verstärkungsflasche, mit Elektricitäten geladen, alle unsere Bewegungen und unser ganzes Leben sei daher eine Wirkung der Elektricität.

§. 32.
Volta's Grundversuch.

Der Lehre Galvani's trat Alexander von **Volta**, ein junger Naturforscher zu Como, später zu Pavia, entgegen und bewies, daß

durch die gegenseitige Berührung zweier verschiedenartiger Körper, besonders zweier Metalle, Elektricität erregt wird.

Er nahm eine polirte Scheibe von Kupfer und eine von Zink, versah beide mit gläsernen Handgriffen und legte sie auf einander. Nachdem er sie mittels der Handgriffe wieder von einander entfernt hatte, zeigte sein äußerst empfindliches Elektrometer, daß das Kupfer negativ elektrisch geworden war. Als Volta nun auch die Zinkplatte an den kupfernen Deckel seines Elektrometers brachte, zeigte sich zuerst keine Spur von Elektricität; doch als eine feuchte Papierscheibe auf das Elektrometer gelegt war, gingen die Goldschaumblättchen aus einander und thaten dar, daß das Zink positiv elektrisch geworden war.

§. 33.
Erfindung der Volta'schen Säule.

So hatte Volta gefunden, daß eine feuchte Papier- oder Tuchscheibe, überhaupt ein feuchter Leiter die Elektricität des Zinks zu einer neuen Kupferplatte hinüber leite. Er legte daher im Jahre 1800 auf eine Kupferplatte eine Zinkplatte, darauf die nasse Tuchscheibe; dann folgte wieder Kupfer, Zink und der feuchte Leiter, und diese regelmäßige Schichtung von Kupfer, Zink und dem feuchten Leiter wiederholte er etwa 100 Mal, so daß der ganze Aufbau das Aussehen einer Säule erhielt. In dieser **Volta'schen Säule** (in Fig. 21) ward durch die gegenseitige Berührung der beiden Metalle Elektricität erregt, und zugleich wurde durch den feuchten Leiter und das Metall alle positive Elektricität nach der obersten Zinkplatte geleitet, während alle negative sich an der untersten Kupferplatte anhäufte. Und Volta hatte die Freude, daß nicht bloß sein Elektrometer eine stärkere Elektricität anzeigte, sondern auch eine Verstärkungsflasche laden zu können, indem er mit ihrem Knopfe die oberste Zinkplatte berührte.

§. 34.
Wirkungen der Volta'schen Säule und des Stromunterbrechers auf den menschlichen Körper.

1. Einst hatte Volta eine Säule von 100 Plattenpaaren schnell aufgebaut, sie stand schief und drohte einzustürzen; um sie gerade zu richten, berührte er mit der einen Hand die oberste Zinkplatte, mit der andern hielt er die Säule unten an der Kupferplatte. Da empfand er eine eigenthümliche Erschütterung in den Handgelenken, die noch heftiger wurde, als er die Hände benetzte, in jede Hand einen Metallcylinder nahm und mit diesen die Endplatten oder Pole der Säule berührte. Es streben nämlich die am Zinkpol und Kupferpol angehäuften entgegengesetzten Elektricitäten sich zu vereinigen; der Strom nimmt bei der Berührung seinen Weg durch den menschlichen Körper und verursacht die Erschütterung der Muskeln und Nerven.

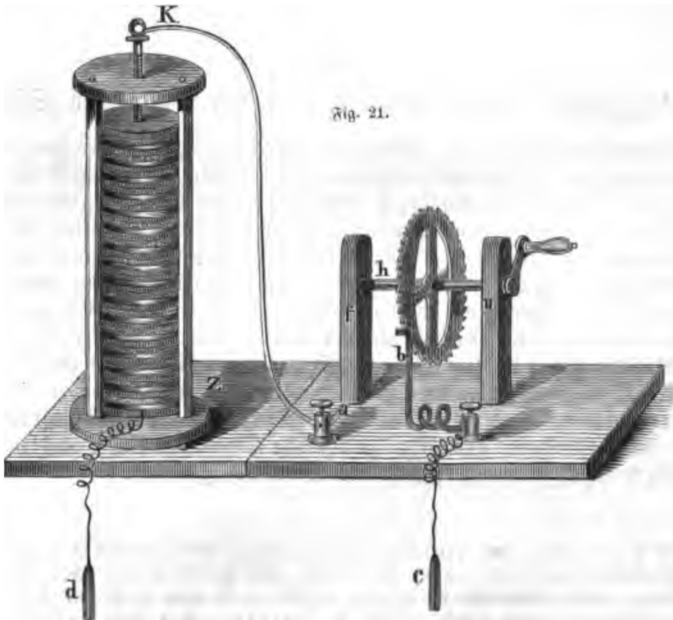
Ein einzelnes Plattenpaar bringt keine Erschütterung hervor, weil der menschliche Körper die galvanische Elektricität weniger gut leitet; eine Säule aber vermag die Elektricitäten auch durch weniger gute Leiter hindurchzudrängen.

2. Gewöhnlich löthet man an die Pole der Volta'schen Säule Dräthe, und zwar Dräthe von Kupfer, weil dieses Metall unter allen am besten leitet. Bringt man diese beiden Dräthe mit einander in Berührung, so nehmen die galvanischen Ströme ihren Weg durch dieselben und vereinigen sich; unterdessen haben sich aber an den Polen der Säule die Elektricitäten von Neuem angehäuft und beginnen ihren Kreislauf abermals. Sind die Dräthe mit einander in Berührung, so sagt man, die Säule sei geschlossen, und die Dräthe selbst werden Schließungsdräthe genannt. **In einer geschlossenen Säule vollbringt die galvanische Elektricität einen ununterbrochenen Kreislauf.**

Berührt man die von einander getrennten Schließungsdräthe mit Metallcylindern, die man in den angefeuchteten Händen hält, und schließt man so den galvanischen Strom, so fühlt man die Erschütterung; fast eben so stark ist sie beim Aufheben der Handgriffe. Also

die galvanische Erschütterung erfolgt beim Schließen und beim Unterbrechen des Stroms.

3. Bei der Anwendung der Säule in der Heilkunde kam es daher auf Vorrichtungen an, durch welche der Strom recht oft unterbrochen und her-



gestellt wird. Diese heißen **Stromunterbrecher** oder **Disjunctoren.** Ein solcher ist das Blitzrad oder Unterbrechungsrad; es besteht aus einem

messingenen gezahnten Rade, dessen metallene Axe von zwei Ständern aus Messing getragen wird, und gegen dessen Umfang eine messingene Feder drückt; das Rad läßt sich mit Hülfe einer Kurbel umdrehen. Man schraubt den einen Schließungsdrath der Säule mittels einer Klemmschraube a an den einen Ständer des Blitzrades; der Strom geht dann durch die Axe zum Umfang des Rades und zur Feder b, an welche ein Drath mit dem einen metallenen Handgriff geschraubt ist, während der andere Handgriff an den zweiten Schließungsdrath der Säule befestigt wird. Wird das Rad gedreht, so entfernen sich seine Zähne von der Feder, und andere Zähne kommen mit ihr in Berührung, so daß der Strom oft unterbrochen und wiederhergestellt wird. Bei Herstellung des Stroms geht derselbe von der obersten Platte der Volta'schen Säule zu der Klemmschraube a, dem Ständer, der Axe und dem Umfang des Rades und gelangt über die Feder b zu dem Handgriff c. Sodann durchströmt er den Körper des Menschen, der die beiden Handgriffe hält, kommt zum andern Handgriff d und hat, indem er so zur untersten Platte der Säule gelangt, seinen Kreislauf vollendet. Die Unterbrechung tritt ein, sobald die Feder nicht einen Zahn berührt.

4. Da man mittels der Volta'schen Säule ertränkte Hühner wieder belebt hatte und eine todte Baumgrille zwischen den Schließungsdräthen wieder zu zirpen anfing, so benutzte man, besonders in Frankreich, die Säule sammt dem Stromunterbrecher zu Heilzwecken, suchte Scheintodte wieder zu beleben und heilte mit dem glücklichsten Erfolge Lähmungen und Rheumatismen*).

§. 35.

Licht- und Wärme-Erscheinungen an der Volta'schen Säule.

Bringt man zwei blank geriebene Stellen der beiden Schließungsdräthe einander ganz nahe, so erhält man einen sehr kleinen, aber äußerst lebhaften Funken. Dünner Platinadrath wird durch den Strom großer Säulen glühend, und dünner Eisendrath wird geschmolzen. Es lassen sich daher, indem man sehr lange Schließungsdräthe anwendet und Platinadrath durch Pulver führt, durch den galvanischen Strom aus weiter Ferne Minen und Pulverfässer sprengen, die man wegen der Gefahren des Eisganges ins Wasser versenkt hat. Der Engländer Davy brachte zwischen die Schließungsdräthe seiner Riesensäule zugespitzte **Kohlenstücke**; als sich dieselben berührten, wurden sie weißglühend, es zeigte sich ein blendender Lichtstern und eine solche Hitze, daß Platina schmolz und Diamanten verflüchtigt wurden. Man hat dies, durch gewaltige galvanische Ströme zwischen Kohlenspitzen hervorgebrachte, sonnenhelle Licht das **Solarlicht** genannt.

---

*) Die so häufig angepriesenen galvanischen Ketten und Rheumatismusableiter sind ohne alle Wirkung, weil bei ihnen der feuchte Leiter fehlt und auch, wenn galvanische Elektricität entstände, sie nicht durch den menschlichen Körper hindurchströmen würde. Doch die Pulvermacher'schen Ketten (zu beziehen durch den Techniker und Physiker Grüel, Berlin, Kronenstraße 37) verdienen Empfehlung und bringen, wenn sie groß sind, sogar die galvanische Erschütterung hervor.

§. 36.
Chemische Wirkungen der Säule*).

Der galvanische Strom hat die Eigenschaft, zusammengesetzte Körper in ihre Bestandtheile zu zerlegen.

Besonders wichtig ist die Zersetzung des Wassers, der Alkalien oder Laugen und der Metallauflösungen.

1. Der **Wasserzersetzungsapparat** besteht aus einem Glase und zwei kleinen Glasglocken, von denen jede einen Platinadrath umschließt. Man füllt das Glas und die Glocken mit Wasser, stellt dieselben mit der Oeffnung nach unten dicht neben einander in das Glas, so daß sie voll Wasser bleiben (§. 131), und schraubt an die Platinadräthe die beiden, Schließungsdräthe der Volta'schen Säule. Der galvanische Strom zerlegt dann das Wasser in zwei Luftarten (§. 57); in der einen Glocke entwickelt sich Sauerstoff, in der andern Wasserstoff.

Fig. 22.



2. Der Engländer Davy brachte **Pottasche**, wie sie aus der Asche gewonnen und bei der Bereitung der Seife und des Glases benutzt wird, auf einem Platinablech zwischen die Schließungsdräthe; da entwickelten sich aus ihr Metallkügelchen, die auf dem Wasser schwammen und verbrannten; dies neue, leichte Metall wurde **Kalium** genannt (§. 54). Ebenso enthalten alle Alkalien und alle Erdarten Metalle.

3. Am wichtigsten ist die Zersetzung der **Metallauflösungen** geworden. Leitet man die beiden Schließungsdräthe in ein Gefäß mit Kupfervitriol, so wird diese Auflösung zerlegt; das in ihr enthaltene Kupfer trennt sich von der Schwefelsäure und setzt sich an den negativen Schließungsdrath.

§. 37.
Die trockene oder Zambonische Säule.

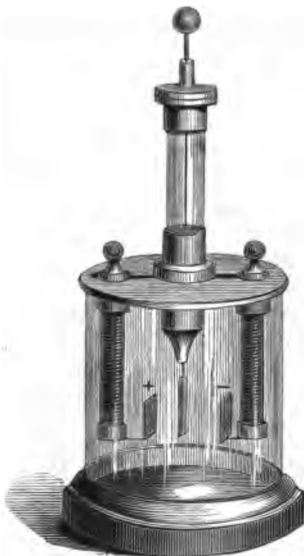
In der Volta'schen Säule löst sich an dem feuchten Leiter Zink auf und überzieht die Kupferplatte, so daß dieselbe nicht anders wirkt, als eine Zinkplatte. Darum ist die Wirksamkeit der Säule jedesmal nur von kurzer Dauer, und die Platten müssen nach dem Gebrauche sorgfältig gereinigt werden. Wegen dieses Uebelstandes wollte man den feuchten Leiter entfernen, und Zamboni in Verona baute trockene Säulen auf. Mehrere Tausend Scheiben

---

*) Alle Körper sind entweder einfache Grundstoffe, Elemente, oder sie sind aus mehreren einfachen Stoffen zusammengesetzt. Daher gehen mit den Körpern oft solche Veränderungen vor, bei denen sich aus mehreren einfachen Stoffen ein neuer Körper zusammensetzt, oder wobei ein zusammengesetzter Körper in seine Bestandtheile zerlegt wird. Alle diese Veränderungen werden chemische Vorgänge genannt; ihre Betrachtung gehört der Chemie an, welche ein Theil der Physik ist, sich aber, besonders durch die Volta'sche Säule, zu einer selbstständigen Wissenschaft ausgebildet hat. Vergl. §. 53 u. f.

von Gold- und Silberpapier wurden mit den blanken Flächen zusammengelegt, die weiße Rückseite des Papiers sollte den Dienst des feuchten Leiters übernehmen, und der ganze Bau wurde in eine Glasröhre eingeschlossen. Aber

Fig. 23.



die Zambonische Säule zeigte nur die Erscheinungen elektrischer Anziehung und Abstoßung.

Sie wurde zur Bewegung eines Uhrpendels und zu einem sehr empfindlichen Elektrometer verwandt. Um ein leichtes Pendel zu bewegen, stellte man zwei trockene Säulen, deren eine oben positiv, die andere negativ elektrisch war, neben einander; das Pendel hing zwischen ihnen, wurde abwechselnd von der einen und der andern angezogen und trieb Jahre lang ein Uhrwerk. In Bohnenberger's Elektrometer hängt ein Goldblättchen zwischen zwei trockenen Säulen; theilt man ihm auch nur die geringste Spur von Elektricität mit, so wird es von der einen Säule angezogen, von der andern abgestoßen.

§. 38.

Volta's Becherapparat und die constanten Ketten.

1. Da die trockene Säule die wenigsten Wirkungen der Volta'schen Säule hervorbrachte, mußte man den Uebelständen derselben auf andere Weise abzuhelfen suchen. Nun lehrten Versuche, daß nicht bloß durch die Berührung zweier Metalle Elektricität erregt wird, sondern daß auch jedes in eine Flüssigkeit getauchte Metall elektrisch wird, oder daß auch

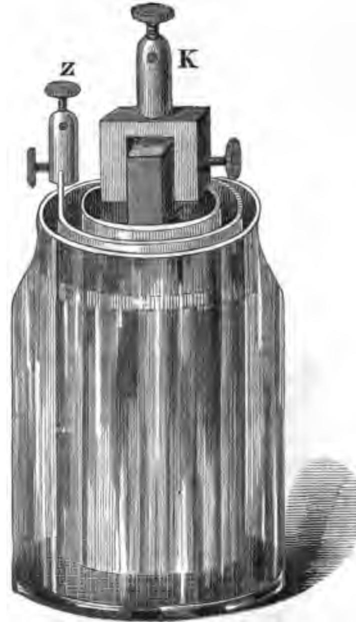
durch die Berührung eines Metalls und einer Flüssigkeit Elektricität erregt wird.

Besonders wird Zink in jeder Flüssigkeit am stärksten negativ elektrisch, und jedes zugleich in dieselbe getauchte andere Metall zeigt sich sammt der Flüssigkeit positiv elektrisch.

2. Darauf beruhte schon **Volta's Becherapparat**, den er gleichzeitig mit seiner Säule zusammenstellte. Er nahm eine Reihe von Kupferbechern und ließ an jeden einen gebogenen Kupferdrath löthen, der unten eine Kugel von Zink trug; etwa 50 Becher wurden so zusammengestellt, daß stets die Zinkkugel des einen in den nächstfolgenden tauchte, und dann wurden alle Becher mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt. Später nahm Volta statt der Kupferbecher Trinkgläser, füllte sie mit verdünnter Schwefelsäure und stellte eine Zink- und eine Kupferplatte hinein, welche sich nicht berühren durften; Schließungsdräthe führten von beiden Platten zu denen des nächsten Glases. Dieser Volta'sche Becherapparat ist das Muster aller neueren galvanischen Ketten geworden.

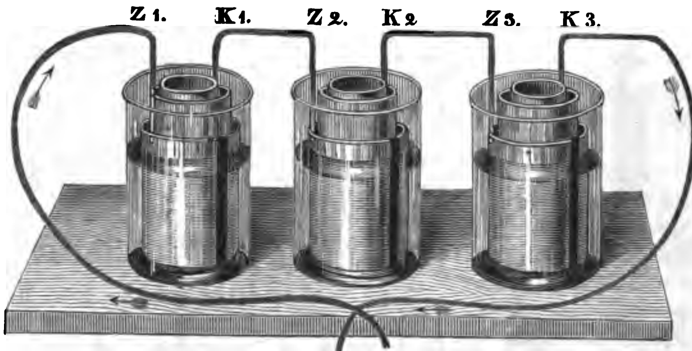
3. Gleichwohl wirkte auch der Becherapparat jedes Mal nur kurze Zeit; denn es setzte sich nicht bloß das aufgelöste Zink an die Kupferplatte, sondern auch die Schwefelsäure wurde durch das Auflösen von Zink schwächer und brachte dann nur geringe Elektricität hervor. Beide Uebelstände sind durch die unveränderlichen oder **constanten Ketten** beseitigt. In ihnen sind erstlich beide Metalle durch einen porösen Thonbecher aus der Masse der Thonpfeifen getrennt, damit sich das aufgelöste Zink nicht an das andere Metall setzen kann. Zweitens wird eine stärkere Säure in den Thonbecher gegossen, welche allmählich durch seine Wände hindurchdringt und die schwächer werdende Schwefelsäure verstärkt.

Fig. 24.



4. Eingeführt wurden die constanten Ketten zuerst durch Daniell. Um eine **Daniell'sche Kette** zusammenzustellen, setzt man in ein gewöhnliches Trinkglas einen porösen Thonbecher und füllt denselben mit Kupfervitriol; in das Glas aber ringsum den Thonbecher gießt man verdünnte Schwefelsäure, die man durch Zugießen von 1 Theil Schwefelsäure zu 10 Theilen Wasser, oder, falls das Zink mit Quecksilber überzogen worden ist, aus 1 Theil Säure und 5 Theilen Wasser herstellt. Dann stellt man in den Becher einen Kupfercylinder, in das Glas aber einen hohlen Zinkcylinder, der den Thonbecher umschließt. An Kupfer und Zink sind Schließungsdräthe gelöthet. Vom Zink kommt in allen constanten

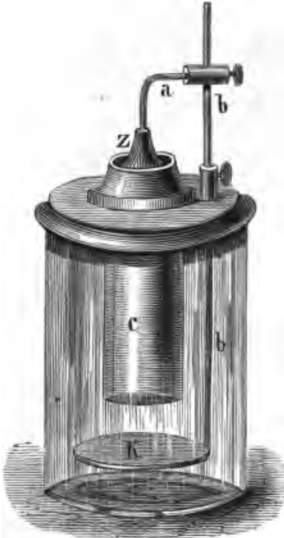
Fig. 25.



Ketten der negative Strom. Weit wirksamer ist die **Grove'sche Kette**, sie besteht (Fig. 28) aus Zink, das in allen constanten Ketten in verdünnter

Schwefelsäure steht, und aus einem, gewöhnlich S förmig gebogenen Platinablech in unverdünnter Salpetersäure. Etwas später wurde die **Bunsen'sche Kette** entdeckt, in welcher Zink und ausgeglühte Steinkohle in Salpetersäure angewandt wird (Fig. 24). Durch eine Zusammenstellung mehrerer constanten Ketten (Fig. 25), wobei man ihre Schließungsdräthe an einander schraubt, erhält man eine constante **galvanische Batterie**; und schon eine Batterie von 10 bis 20 Grove'schen Ketten bringt eben so starke chemische Licht- und Wärme-Erscheinungen hervor, als die riesenhaften Volta'schen Säulen, äußert aber keine Wirkung auf den menschlichen Körper. Die Zeichnung stellt eine Daniell'sche Batterie dar.

Fig. 26.

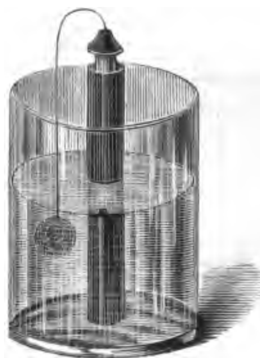


§. 39.

Die Galvanoplastik.

Im Jahre 1837 bemerkte Jacobi in Dorpat, daß sich der Kupfercylinder einer Daniell'schen Kette, die er oft gebrauchte, mit einer Kupferschicht überzogen hatte; durch den galvanischen Strom war das Kupfervitriol zersetzt, und es hatte sich metallisches Kupfer aus der Auflösung niedergeschlagen. Dieser Ueberzug ließ sich leicht von dem Kupfercylinder ablösen; merkwürdiger Weise fand Jacobi darin jede Vertiefung, ja jeden Feilstrich des Kupfercylinders auf's genaueste abgebildet und gründete auf diese Wahrnehmung die Galvanoplastik, die Kunst, durch den galvanischen Strom Abdrücke von Münzen, Kupferplatten oder ganzen Figuren in Metall herzustellen.

Fig 27.



Der einfache galvanoplastische Apparat besteht aus einem größeren Glase und einem engeren porösen Thonbecher (oder statt dessen einem unten mit Pergament verschlossenen Glascylinder), welcher in das Glas hineingehängt wird. In dem Thonbecher befindet sich ein Zinkstreifen und unten in dem Glase eine Kupferplatte; beide sind durch einen Kupferdrath verbunden. Wird nun in den Thonbecher verdünnte Schwefelsäure, in das Glas Kupfervitriol gegossen, so entsteht ein galvanischer Strom, zersetzt das Kupfervitriol, und das in ihm enthaltene Kupfer fällt auf die Kupferplatte nieder und auf alle Metallgegenstände, z. B. Münzen, die man auf die Platte gelegt hat.

In einer zweiten Form wird der einfache galvanoplastische Apparat aus einem weiten Glase und einem Thonbecher zusammengesetzt, den man in das Glas hineinstellt. In dem Thonbecher befindet sich ein Zinkstreifen in verdünnter Schwefelsäure, ein oben an

ihn gelötheter Kupferdrath ist abwärts gebogen, taucht in das Kupfervitriol in dem Glase und trägt hier die Münze, die nicht liegt, sondern senkrechte Stellung hat. Am Rande und auf der Rückseite ist die Münze mit Wachs verdeckt, doch so, daß sie den Drath selbst berührt, und auf der Vorderfläche gereinigt und mit einem Tropfen Rosmarinöl überfahren. An die Vorderseite setzt sich metallisches Kupfer.

Dieser Ueberzug von Kupfer läßt sich nachher leicht von der Münze trennen und bildet einen vertieften Abdruck ihrer erhabenen Stellen. Um eine dem Original ganz ähnliche Copie zu erhalten, legt man den ersten Abdruck erst wieder auf die Kupferplatte des galvanoplastischen Apparats und nimmt wieder von ihm die Abdrücke. Ebenso ist der erste Abdruck gestochener Kupferplatten erhaben; man muß darum von dem ersten wieder einen zweiten Abdruck nehmen, der vertieft ist, wie die Originalplatte. Da der galvanische Strom auch Gold und Silber aus ihren Auflösungen trennt, so kann man auch leicht auf galvanischem Wege vergolden und versilbern.

Beim Abbilden größerer Gegenstände wendet man eine constante Batterie an, befestigt an den vom Zink kommenden Schließungsdrath die abzubildende, durch Einreiben von Reißblei leitend gemachte Figur, schraubt an den andern Schließungsdrath eine Kupferplatte und taucht diese und die Figur, getrennt von einander, in ein großes Gefäß mit Kupfervitriol. Anwendung findet die Galvanoplastik, außer zur galvanischen Versilberung und Vergoldung, zur Vervielfältigung seltener Münzen und Medaillen, ferner um Abdrücke von Kupferplatten zu Kupferstichen und Karten, von Daguerreschen Lichtbildern (§. 171) und von den zum Bedrucken ganzer Seiten von den Buchdruckern zusammengestellten Lettern zu erhalten, um Gypsfiguren und Leinwand zum Dachdecken zu überkupfern und um ganze Bildsäulen aus Kupfer herzustellen.

IV. Der Elektromagnetismus.

§. 40.

Entdeckung des Elektromagnetismus.

Längst schon hatte man geahnt, daß die Elektricität von Magnetismus begleitet werde. Doch man wußte nicht mehr, als daß einst in einer Schusterwerkstätte zu Alkmaar, in welche der Blitz eingeschlagen hatte, alle eisernen Geräthschaften in Magnete verwandelt waren, und daß auf einem englischen Schiffe, dessen Mastbaum der Blitz 1675 bei den Bermudas-Inseln zertrümmert hatte, alle Kompaßnadeln fortan mit ihrem früheren Nordpol nach Süden zeigten. Da entdeckte der dänische Naturforscher **Oersted** 1820 zu Kopenhagen, daß der Schließungsdrath einer galvanischen Kette die Magnetnadel aus ihrer gewöhnlichen Stellung ablenkte. Er brachte zufällig einen glühenden Platinadrath, durch den der positive Strom nach Süden floß, einer darunter befindlichen Magnetnadel nahe und sah, daß der Nordpol der Nadel sich plötzlich nach Osten richtete, gleich als hätte man quer über den Schließungsdrath einen Magnet mit seinem Südpol nach Osten gelegt. Also

der Schließungsdrath einer galvanischen Kette wirkt eben so, wie ein quer über ihn gelegter Magnet.

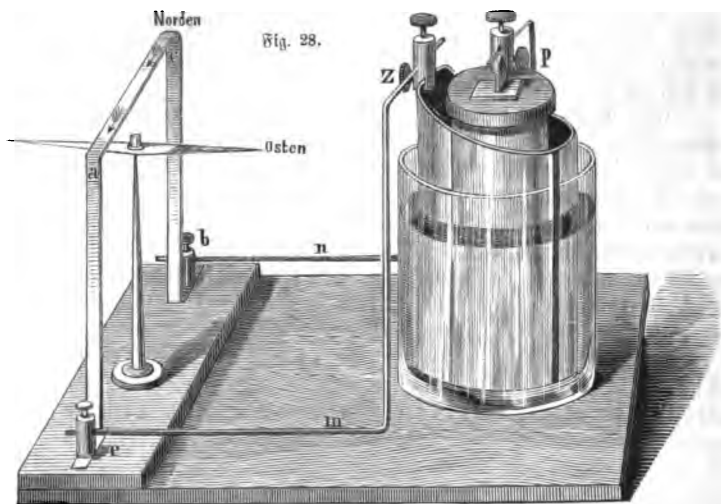


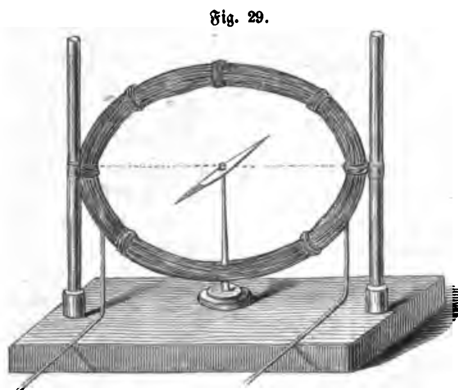
Fig. 28.

Die Magnetnadel kann daher nach oben, unten, Osten oder Westen abgelenkt werden, wenn man dem Schließungsdrathe eine andere Lage giebt. Für alle Fälle aber wird die Lage des südlichen und nördlichen Magnetismus zum Schließungsdrathe durch das Ampere'sche Gesetz bestimmt: Man denkt sich eine mit dem positiven Strome schwimmende menschliche Figur, welche die Magnetnadel ansieht; dann

wirkt der Schließungsdrath nach der linken Seite der Figur, wie der Südpol eines Magnets.

§. 41.
Der Multiplicator.

Fig. 29.



Bei schwachen Strömen ist die Ablenkung der Magnetnadel unbedeutend. Um sie zu verstärken, bog Schweigger in Halle Kupferdrath zu einem länglichen Viereck zusammen, dessen eine Ecke offen blieb, und umgab damit eine frei schwebende Magnetnadel, und wirklich wurde dieselbe durch einen hindurchgeleiteten Strom weit stärker abgelenkt, als durch einen einfachen Schließungsdrath; denn alle Seiten des Vierecks

Fig. 30.



zogen die Nadel nach derselben Seite hin. Um die Wirkung zu vervielfachen, nahm nun Schweigger einen hölzernen Rahmen, der rechts und links offen war, und in dessen Mitte eine Magnetnadel schwebte, und umwickelte denselben mit etwa hundert Windungen von besponnenem Kupferdrath; an die Enden desselben wurden die Schließungsdräthe geschraubt. Dies Werkzeug heißt Multiplicator, weil die vielen Windungen die Ablenkung der Magnetnadel vervielfachen, oder Galvanometer, weil es dient, die Stärke des Stroms nach der Stärke der Ablenkung zu schätzen und geringe Spuren von Galvanismus zu entdecken.

§. 42.

Die Polarität eines gewundenen Schließungsdrathes.

Giebt man einem Schließungsdrathe viele gleiche Windungen, so muß durch den galvanischen Strom das eine Ende der dadurch entstehenden Drathrolle zu einem ziemlich kräftigen Nordpol, das andere ein Südpol werden; die Drathrolle muß dieselben Wirkungen zeigen, wie ein in ihr liegender Magnet.

1. Als daher Arago zu Paris an das eine Ende solcher Drathrolle **Eisenfeilspäne** hielt, setzten sich dieselben mit Heftigkeit daran, wie an den Pol eines Magnets.

2. Eine hohle Drathrolle zieht in sich einen Eisenstab hinein, wenn sie vom galvanischen Strom durchflossen wird. So zieht schon bei Anwendung einer Daniell'schen Kette eine aus vierzig Fuß besponnenen Drathes um eine enge Glasröhre gewickelte, einen Zoll lange Drathrolle einen zolllangen Eisendrath von der Dicke einer starken Stricknadel empor und erhält ihn in der Rolle frei schwebend.

§. 43.

Magnetisirung von Stahl durch Galvanismus.

Durch eine vom galvanischen Strom durchflossene Drathrolle kann man die stärksten Stahlmagnete herstellen. Zu dem Ende nimmt man einen

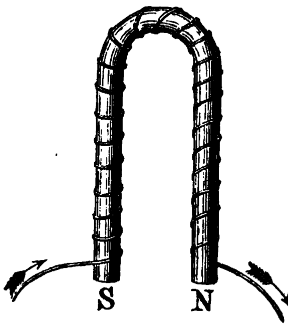
20 Fuß langen besponnenen Kupferdrath, windet aus demselben eine hohle, nur einen Zoll hohe Rolle und leitet den Strom einer Grove'schen Kette hindurch. Wird nun ein Stahlstab durch die Rolle gesteckt und oftmals darin von seinem einen Ende zu dem andern hin und her geschoben, so wird er vollkommen und dauernd magnetisch. Weil Nordpol und Südpol der Drathrolle nahe bei einander liegen, so ist das Verfahren dem Doppelstrich sehr ähnlich (§. 7).

§. 44.

Der Elektromagnet.

Da sich Stahl durch Galvanismus magnetisiren läßt, so kam der Engländer Sturgeon auf den Gedanken, weiches **Eisen** in Hufeisenform schmieden zu lassen, es mit besponnenem Kupferdrathe stets in derselben Richtung zu umwickeln und durch den Drath einen galvanischen Strom zu leiten, so daß er das Eisen umströmte. Sobald der Strom die Windungen durchfloß, zeigte sich das Eisen außerordentlich stark magnetisch und war dadurch zu einem **Elektromagnet** geworden. Je dicker das Eisen und je länger der herumgewundene Drath ist, eine desto größere Tragkraft erhält es; daher hat man Elektromagnete, die 20 Centner tragen. Mittels starker Elektromagnete läßt sich zeigen, daß alle Körper unter dem Einfluß des Magnetismus stehen; so sind Papier und Holz magnetisch und werden von einem Magnet angezogen; Wismuth, Zink, Glas, Wasser, Luft werden abgestoßen und heißen diamagnetische Körper.

Fig. 31.



Das Eisen ist nur so lange magnetisch, als es vom galvanischen Strom umflossen wird;

unterbricht man den galvanischen Strom, so verliert es sogleich seine anziehende Kraft. Will man also einen Elektromagnet abwechselnd magnetisch oder unmagnetisch machen, so bedient man sich eines Stromunterbrechers oder Disjunctors. Der einfache Stromunterbrecher (in Fig. 42) für einen Elektromagnet besteht aus einem metallenen Hebel, der sich auf eine Kupferplatte niederdrücken läßt. Schraubt man den einen Schließungsdrath der Kette an das Ende des um den Elektromagnet gewickelten Drathes, dessen anderes Ende an den Hebel des Disjunctors und den andern Schließungsdrath an die Kupferplatte desselben, so kann der Strom den Elektromagnet nicht umkreisen, da er unter dem Hebel unterbrochen ist, der Strom wird aber sogleich hergestellt, und das Eisen wird magnetisch, sobald man den Hebel auf die Kupferplatte niederdrückt.

§. 45.

Die Vertauschung der Pole an einem Elektromagnet.

Ueber die Pole eines Elektromagnets gilt dasselbe Gesetz*), wie bei einer Drathrolle:

Bei einem rechts gewundenen Drathe liegt der Südpol an der Eintrittsstelle des positiven Stroms.

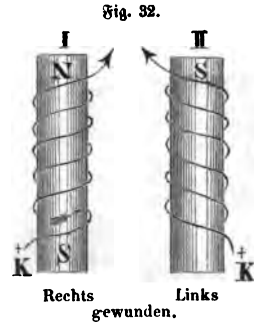
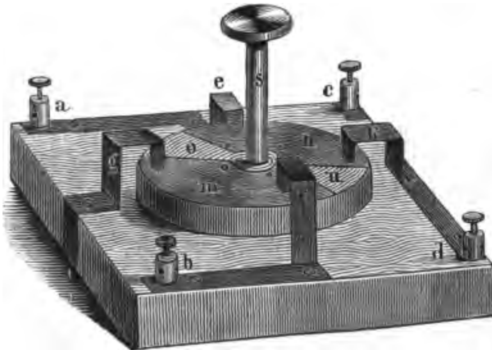


Fig. 32.
Rechts Links gewunden.

Könnte man den positiven Strom plötzlich zu dem andern Drathende des Elektromagnets leiten, so müßte derselbe hier einen Südpol erhalten, wo er vorher einen Nordpol hatte, und die Pole des Elektromagnets würden durch einen Wechsel in der Leitung des Stroms vertauscht. Alle Vorrichtungen, um die Pole eines Elektromagnets zu vertauschen, heißen **Stromwechsler** oder **Commutatoren**. Einer der einfachsten und brauchbarsten Stromwechsler hat folgende Einrichtung. Ein Brett, dessen obere Fläche ein regelmäßiges Viereck bildet, trägt in seinem Mittelpunkt einen senkrecht aufgestellten (in den Zeichnungen nicht sichtbaren) runden Eisenstab. Derselbe bildet die Axe einer wagerechten hölzernen Kreisscheibe, welche kleiner ist, als das quadratförmige Grundbrett und mit Hülfe des Knopfes s sich drehen läßt. Auf die Kreisscheibe sind, einander gegenüber, zwei Kupferbleche m und n geschraubt; sie sind etwas größer, als der vierte Theil des Kreises und berühren sich nirgends. Auf jedes der Kupferbleche drücken zwei Messingfedern, auf das Blech n die Federn e und k, auf das Blech m die Federn f und g; die Federn stehen oben auf dem Grundbrette, in der Mitte der Seiten desselben, und sind durch Messingstreifen in leitender Verbindung mit vier Klemmschrauben, die in den Ecken des Grundbrettes aufgestellt sind. Die Klemmschraube a steht in Verbindung mit der Messingfeder e; die Klemmschraube d in Verbindung mit der Feder k; die Schraube b ist metallisch verbunden mit der Feder f, und von der Klemm-

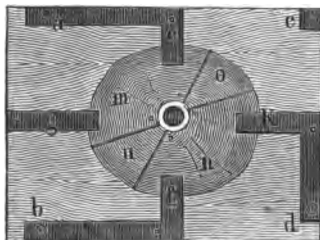
Fig. 33.



*) Um sich von der Richtigkeit desselben zu überzeugen, denkt man sich die Hülfsfigur des Ampere'schen Gesetzes mit dem positiven Strome schwimmend und mit dem Gesicht nach der Außenseite der Drathrolle gewandt; ihre linke Seite wird nach der Eintrittsstelle des positiven Stroms zu liegen.

schraube c führt ein Messingstreifen oder Kupferdrath unterhalb des Grundbrettes zu der Feder g. Die Schließungsdräthe der galvanischen Kette werden in die Klemmschrauben a und b eingeschraubt, die Drathenden des Elektromagnets in die Klemmschrauben c und d. Bei der zuerst gezeichneten Stellung des Commutators geht der positive Strom, wenn er bei a eintritt, zur Feder e, über das Kupferblech n zur Feder k und der Klemmschraube d und tritt bei d in den Elektromagnet ein.

Fig. 34.



Der negative Strom gelangt von der Klemmschraube b zur Feder f und mittels des Kupferbleches m zur Feder g und der Klemmschraube c. Dreht man nun mittels des Knopfes s die bewegliche Kreisscheibe um den vierten Theil eines Kreises, so erhält dieselbe die in der nächsten Figur gezeichnete Stellung. Bei dieser Stellung nimmt der positive Strom seinen Weg von der Klemmschraube a über die Feder e, das Kupferblech m und die Feder g zur Schraube c und tritt hier, wo vorher der negative Strom zu dem Elektromagnet gelangte, in dessen Drath ein. Dagegen geht der negative Strom jetzt von b über f, n, k nach d. Stellt man die bewegliche Scheibe so, daß zwei Federn über den Holztheilen o und u schweben, so ist der Strom unterbrochen.

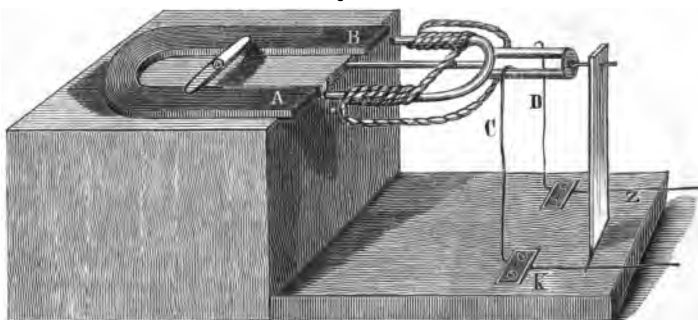
§. 46.
Elektromagnetische Maschinen.

1. Außerdem, daß man die Elektromagnete zum Magnetisiren von Stahl benutzt, wobei der Elektromagnet fest auf den Tisch gelegt und der zu magnetisirende Stahlstab nach dem Verfahren des einfachen Strichs längs seines einen Pols bewegt wird, kam man wegen der bedeutenden Tragkraft der Elektromagnete darauf, sie zum Treiben von Maschinen zu verwenden. Man unterscheidet zwei Arten elektromagnetischer Maschinen, rotirende und schwingende; an den ersteren hat die Kraftmaschine (§. 106) eine Kreisbewegung, an der zweiten Art eine hin- und hergehende.

2. Eine rotirende Bewegung wird unmittelbar durch Elektromagnetismus hervorgebracht an der elektromagnetischen Maschine von Ritchie. Sie besteht aus zwei Elektromagneten; der eine, dessen Leistung auch ein Stahlmagnet übernehmen kann, ist unbeweglich und in liegender Stellung befestigt. Der zweite Elektromagnet wendet seine Pole denen des ersten zu und kann sich um eine wagerechte Axe drehen. Der bewegliche Elektromagnet wird sich so stellen, daß sein Nordpol dem Südpol des festliegenden Elektromagnets nahe ist; wechselt aber dann der rotirende Elektromagnet seine Pole, so würde sein Südpol von dem Südpol des andern abgestoßen, und er würde sich drehen, bis sein Südpol dem Nordpol des unbeweglichen Magnets nahe wäre; dann müßte der rotirende Elektromagnet wieder seine Pole wechseln und würde dadurch in drehender Bewegung erhalten werden. — Das Wechseln der Pole nach jeder halben Umdrehung führt der rotirende Elektromagnet selbst aus. Der Commutator

besteht aus zwei sich zugleich mit ihm umdrehenden, aber von seiner Axe durch einen Holzcylinder getrennten messingenen Halbringen, die einander nirgends berühren; an jeden Halbring ist das eine Ende von dem Umwickelungsdrath des Elektromagnets gelöthet, und auf jeden drückt eine Metallfeder, an welche (K und Z) ein Schließungsdrath der galvanischen Kette

Fig. 35.

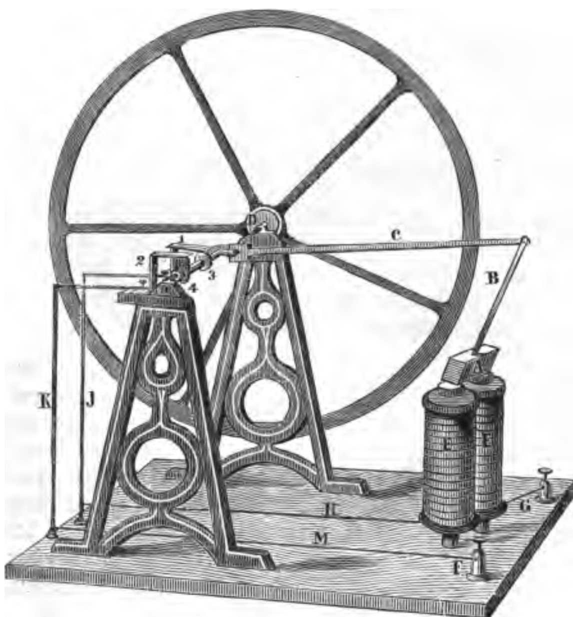


geschraubt wird. Der positive Strom tritt bei K in die Feder, geht auf den einen Halbring über, durchläuft die Windungen des Elektromagnets, kommt zum andern Halbring und durch die Feder zur Kette zurück. Ist der bewegliche Elektromagnet rechts gewunden, so erhält er dem Südpol des unbeweglichen gegenüber gleichfalls einen Südpol und beginnt, von ihm abgestoßen, sich zu drehen. Nach einer halben Umdrehung befindet sich der andere Arm des rotirenden Elektromagnets vor dem Südpol; aber mit diesem Arm hat sich zugleich sein Halbring gedreht, er empfängt durch diesen von K her den positiven Strom, wird ein Südpol und wird deshalb gleichfalls abgestoßen. Auf diese Weise setzt sich die eingeleitete rotirende Bewegung weiter fort.

3. In der elektromagnetischen Maschine von Grüel bewirkt der Elektromagnet zuerst eine hin- und hergehende Bewegung. Ein Elektromagnet E ist lothrecht aufgestellt, so daß seine Pole nach oben gekehrt sind. Quer über den Polen liegt ein eiserner Anker A, der nur so breit ist, daß er um die Kanten seiner unteren Fläche sich drehen kann, ohne hinabzufallen. Steht, wie in der Zeichnung, der Anker A schräg, indem er auf der rechten Kante seiner Unterfläche ruht, so leitet man den Strom um den Elektromagnet; der Elektromagnet zieht den Anker an und bewegt den lothrecht an den Anker befestigten Stab B nach links. Wenn der Anker zu vollkommener Berührung mit den Polen gelangt ist und der Ankerstab B lothrechte Stellung angenommen hat, dann unterbricht man den galvanischen Strom; der Elektromagnet läßt den Anker los, und der Anker setzt seine Bewegung nach links fort (§. 75) und dreht sich um die linke Kante seiner unteren Fläche, so daß der Ankerstab B schräg nach der linken Seite überhängt. Darauf wird der Strom wiederhergestellt; der Anker wird angezogen, und der Ankerstab B bewegt sich nach rechts. Steht er lothrecht, so wird der Strom unterbrochen; aber der Anker und sein Stab setzen die Bewegung nach rechts noch fort, bis sie durch die nächste Herstellung des Stroms genöthigt werden, sich wieder nach links zu wenden.

So wird durch Herstellung und Unterbrechung des Stroms der Ankerstab B in eine hin- und hergehende Bewegung gesetzt; er theilt dieselbe der wagerechten Stange C mit und dreht mittels einer Kurbel (§. 108, 1) eine Axe DD und ein an die Axe befestigtes Rad (§. 109, 1) um.

Fig. 36.



Die rechtzeitige Herstellung und Unterbrechung des Stroms führt die Maschine selbst durch einen an der Axe des Rades angebrachten Disjunctor aus. An die Axe ist nämlich eine kupferne, kreisförmige Scheibe und neben dieser eine ellipsenförmige Scheibe gelöthet; auf die Kreisscheibe drückt die messingene Feder Nr. 1, auf die ellipsenförmige Scheibe die Feder Nr. 2. Der Strom der galvanischen Kette, deren Schließungsdräthe in die Klemmschrauben G und F geschraubt werden, tritt von der Klemmschraube G aus in die Windungen des Elektromagnets ein, umkreist denselben und gelangt durch den wagerechten Drath H und den lothrechten Drath J zu der Feder Nr. 1, der Kreisscheibe, ihrer metallenen Axe und der ellipsenförmigen Scheibe. Bei jeder Umdrehung der Axe berührt die Feder Nr. 2 zwei Mal die ellipsenförmige Scheibe; bei zwei Stellungen der Scheibe aber wird sie von der Feder nicht berührt. Berührt die Feder Nr. 2 die ellipsenförmige Scheibe, wie in der Zeichnung, so geht der Strom von dieser Scheibe zur Feder Nr. 2 und durch die Dräthe K und M und die Klemmschraube F zur galvanischen Kette; der Strom ist also hergestellt. Steht der Ankerstab B lothrecht, so wird die Feder von der ellipsenförmigen Scheibe nicht berührt, und der Strom ist unterbrochen. Bei jeder Umdrehung der Axe bewirkt der Disjunctor eine zweimalige Unterbrechung und eine zweimalige Herstellung des Stroms und veranlaßt dadurch die regelmäßige Hin- und Herbewegung des Ankerstabes.

4. Die größten elektromagnetischen Maschinen hat bis jetzt der Erfinder der Galvanoplastik, Jacobi in Petersburg, gebaut, der in dem Umkreis einer feststehenden Scheibe acht Elektromagnete anbrachte; neben derselben befand sich eine bewegliche Scheibe, ebenfalls mit acht Elektromagneten, und

wurde dadurch, daß diese ihre Pole wechselten, in drehende Bewegung gesetzt. Eine solche Maschine wurde auf einem zehnrudrigen Boote angebracht und vermochte es mit einer Bemannung von 12 Mann auf der Newa gegen den Strom und Wind zu bewegen. Zu Frankfurt a. M. versuchte es der Mechanikus Wagner, eine Locomotive zu bauen, die durch elektromagnetische Kraft getrieben werden sollte; allein die Locomotive, die er zu Stande brachte, fuhr sehr langsam und vermochte nicht, auch nur einen einzigen Wagen zu ziehen. Zum Betrieb größerer Maschinen werden die elektromagnetischen Maschinen bis jetzt nicht angewandt, weil die Unterhaltung der Batterie zu viel kostet.

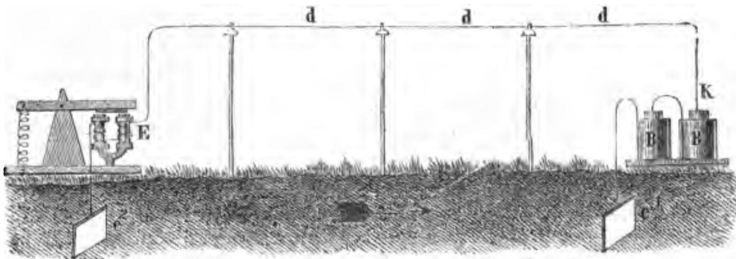
§. 47.

Der elektromagnetische Telegraph.

1. Die wichtigste Anwendung des Elektromagnetismus ist bis jetzt der **elektromagnetische Telegraph.** Er beruht darauf, daß man durch eine galvanische Batterie selbst einen meilenweit entfernten Elektromagnet (oder einen Multiplicator) magnetisch machen oder ihm durch Unterbrechung des Stroms seinen Magnetismus wieder nehmen kann, sobald nur von der Batterie bis zu ihm Dräthe führen, die durch einen Ueberzug von Guttapercha oder durch Holzstangen hinreichend isolirt sind. Vermöge seiner außerordentlichen Geschwindigkeit durchläuft der galvanische Strom den meilenlangen Weg mit Blitzesschnelle. Eine Herstellung des Stroms bewirkt daher in demselben Augenblick, daß der Elektromagnet auf der andern Station ein nahes Eisenstück oder einen Stahlmagnet anzieht; und eine Unterbrechung des Stroms hat zur Folge, daß er sie eben so schnell wieder losläßt.

2. Indeß ist durch die Versuche Steinheil's auf der Nürnberg-Fürther Eisenbahn ermittelt, daß **nur ein Leitungsdrath von einem Orte zum andern** erfordert wird und das feuchte Erdreich selbst den Dienst des

Fig. 37.

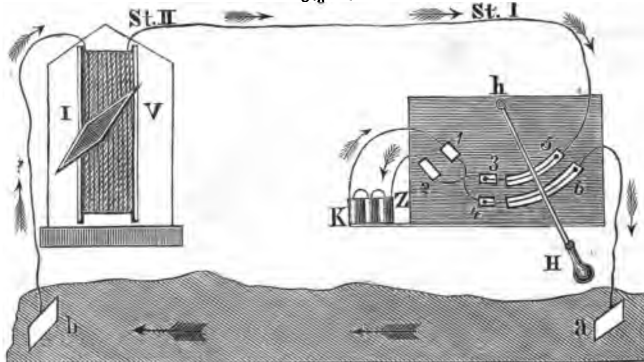


zweiten Leitungsdrathes übernimmt, wenn man an den einen Schließungsdrath der Batterie und an das eine Drathende des Elektromagnets große Metallplatten löthet und diese in den Erdboden bis zum Wasserstande des Ortes einsenkt. In Gebrauch sind drei Arten von Telegraphen, Nadel-, Zeiger- und Drucktelegraphen.

3. Bei den englischen **Nadeltelegraphen** hängt eine Magnetnadel aufrecht innerhalb eines Multiplicators. Indem man an der Station, von

wo aus man telegraphirt, den Strom durch einen Disjunctor herstellt und unterbricht, bewirkt man, daß die Nadel, so oft man will, sich nach der rechten Seite bewegt; wechselt man die Ströme durch einen Commutator, so muß die Magnetnadel nach der andern Seite hin ausschlagen. Ueber die Bedeutung dieser Zeichen hat man sich dahin verständigt, daß die Zusammenstellungen dieser Ausschläge, z. B. links links, links links links,

Fig. 38.



rechts links, einzelne Buchstaben oder Sätze bedeuten. Die Figur stellt auf Station II den Multiplicator dar; die Nadel auf der Vorderseite desselben macht dieselben Bewegungen, wie die im Innern des Multiplicators an derselben Axe angebrachte Magnetnadel. Auf Station I ist der Commutator aufgestellt; er besteht aus sechs, mit 1, 2, 3, 4, 5 und 6 bezeichneten Messingplatten, die in zwei gleichlaufenden Bogen angeordnet sind; die erste Platte ist mit der vierten und die zweite mit der dritten durch einen ganz in das Gestell eingelassenen Drath verbunden. Ein hölzerner Hebel hH trägt zwei bogenförmige Federn und läßt sich so verschieben, daß die Federn entweder die dritte Platte mit der fünften und die vierte mit der sechsten leitend verbinden, oder die erste mit der fünften und die zweite mit der sechsten. Im ersten Fall gelangt der vom Kupfer K kommende Strom über die erste und vierte Platte zur sechsten, im zweiten von der ersten Platte durch die obere Feder zur fünften, so daß der Strom jetzt da in den Multiplicator eintritt, wo er zuvor austrat.

4. Seit 1841 sind die nach Angabe des Engländers **Wheatstone** eingerichteten **Zeigertelegraphen** im Gebrauch. An jeder Station stehen zwe Apparate; der eine bringt die Depeschen von der andern Station und heißt der Zeichenbringer, während die andere Vorrichtung, der Zeichengeber, beim Weitertelegraphiren gebraucht wird.

a) Der Hauptbestandtheil des **Zeichenbringers** ist ein Elektromagnet E; ein Eisenstab A, von einem Hebel H getragen, hängt über seinen Polen, und eine Feder entfernt diesen von denselben. Geht der Strom um den Elektromagnet, so zieht er den Eisenstab an; wird der Strom unterbrochen, so entfernt die Feder den Eisenstab wieder. An den Hebel ist ein Haken (§. 96) befestigt, der in ein

Rad mit 12 Zähnen eingreift und es bei jeder Bewegung des Stabes um einen halben Zahn weiter schiebt. Die Axe des Rades geht durch eine runde Scheibe, auf deren Rand die 24 Buchstaben in gleichen Entfernungen von einander verzeichnet sind, und trägt einen Zeiger vor der Scheibe, der sich zugleich mit dem Rade bewegt.

Fig. 39.

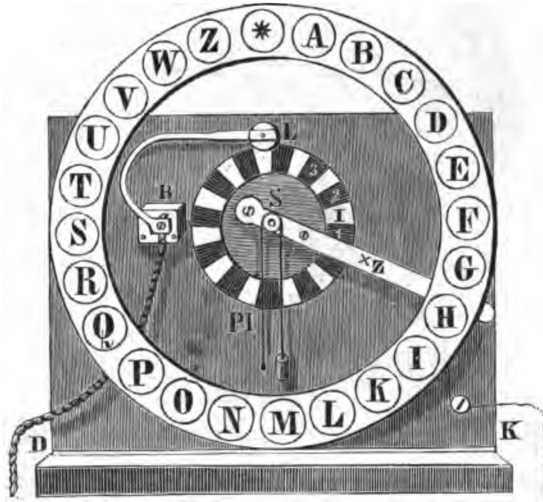


Wird nun auf der andern Station der Strom hergestellt, so zieht der Elektromagnet den Eisenstab an, der Haken schiebt das Rad vorwärts, und der Zeiger tritt auf den Buchstaben A. Unterbricht man dann den Strom, so bewegt die Feder den Stab, das Rad geht abermals um einen halben Zahn vorwärts, und der Zeiger tritt auf den Buchstaben B. Jedes zu telegraphirende Wort muß buchstabirt und aus den einzelnen Buchstaben zusammengesetzt werden. Der Zeiger kann nur vorwärts gehen, muß also über manche Buchstaben forteilen, die nicht in dem telegraphirten Worte vorkommen; auf den Buchstaben aber, die gemeint sind, steht er kurze Zeit still. Außerdem hat auf manchen Telegraphenlinien jeder Buchstabe noch eine geheime Bedeutung und bezeichnet ganze Wörter oder Sätze, die in besonderen Chiffrirbüchern aufgeführt sind.

b) Der **Zeichengeber** ist nichts Anderes, als ein Stromunterbrecher. In einer lothrecht aufgestellten Messingplatte P 1 liegt die metallene Axe einer vor ihr befindlichen runden Unterbrechungsscheibe S; sie ist ebenfalls aus Messing, aber am Umfang in 24 gleiche Theile getheilt, von denen einer um den andern mit Elfenbein ausgelegt ist. Auf den obern Rand der Unterbrechungsscheibe drückt die kupferne Leitungsrolle L, die stets nur eins ihrer Felder berührt und durch

einen Metallbügel und den Leitungsdrath D mit der andern Station in Verbindung steht. Von der Platte P 1 des Gestelles ist der Bügel durch ein Brettchen B getrennt; an die Platte ist bei K der eine Schließungsdrath der Batterie geschraubt, während der andere zu einer in die Erde versenkten Platte hinabführt. Berührt nun die Rolle, wie in der Zeichnung, einen Elfenbeineinsatz, so ist hier der Strom unterbrochen. Dreht man die Scheibe um ein Feld weiter, so wird der Strom ein Mal hergestellt. Die Unterbrechungsscheibe wird durch ein Uhrwerk gedreht; an dieselbe ist ein Zeiger Z befestigt, und

Fig. 40.

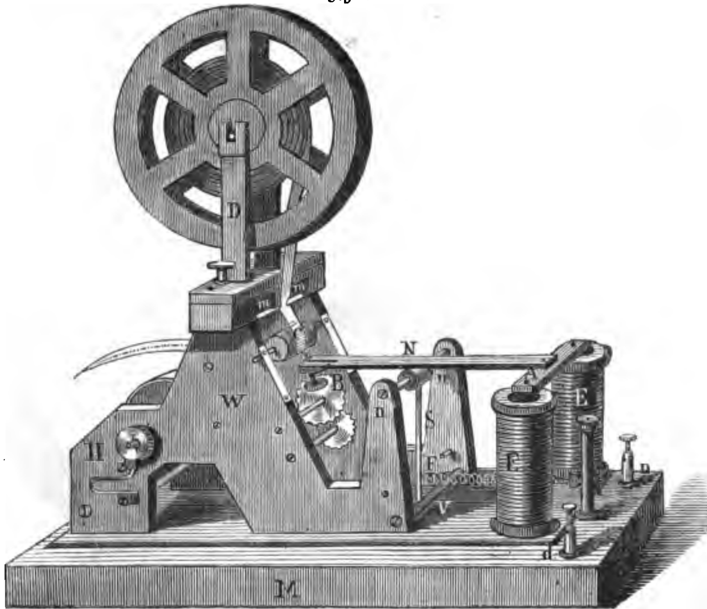


vor ihr ist in einem größeren Kreisringe ein Tastenwerk mit den 24 Buchstaben geordnet. Steht der Zeiger vor der Taste, deren Buchstabe gemeint ist, so drückt der Telegraphist sie nieder und hemmt dadurch die Bewegung des Zeigers. Soll der Buchstabe A telegraphirt werden, so wird seine Taste niedergedrückt; dabei ist die Leitungsrolle auf das erste Metallstück gekommen, der Strom ein Mal hergestellt und der Zeiger auf der andern Station auf A getreten.

5. Am meisten sind jetzt die **Drucktelegraphen** von Morse in Gebrauch. Der in Fig. 41 dargestellte Zeichenbringer oder Schreibapparat dieses Telegraphen ist eine Vorrichtung, welche die von der andern Station gesandten Depeschen in einen Papierstreifen einprägt. Ein Elektromagnet E ist lothrecht, mit nach oben gerichteten Polen, aufgestellt; über den Polen schwebt ein eiserner Anker A, getragen von dem einen Ende eines zweiarmigen Hebels, der an seinem andern Ende einen Stahlstift, den Schreibstift B, trägt. Ueber dem Schreibstift befindet sich eine Walze C, unter der sich ein schmaler Papierstreifen fortbewegt. Diese Walze sammt dem Papierstreifen erhält ihre Bewegung durch die Reibung an einer zweiten

(in der Figur nicht sichtbaren) Walze, und diese wird mittels eines Räderwerks durch ein Gewicht, oder durch eine starke Uhrfeder schnell umgedreht. An dem Hebel, welcher den Schreibstift trägt, ist ein senkrecht abwärts führender Stab befestigt, und an diesen greift eine spiralförmig gewundene Feder F und sucht den Schreibstift von dem Papier zu entfernen. Der Schreibstift drückt zweierlei Zeichen, Punkte und Striche, in das Papier ein. Durchläuft ein galvanischer Strom die Windungen des Elektromagnets

Fig. 41.



nur auf einen Augenblick, so wird der Anker A auf einen Augenblick angezogen, der Schreibstift prägt einen Punkt ins Papier und wird durch die Feder F sogleich wieder von dem Papier entfernt. Dauert der Strom länger, so bleibt der Schreibstift mit dem Papier länger in Berührung und zeichnet einen Strich. Eine kürzere Unterbrechung des Stroms hat eine kürzere Lücke, eine längere Unterbrechung eine längere Lücke zwischen den Zeichen zur Folge. Alle Buchstabenbezeichnungen für den Drucktelegraphen werden aus Punkten und Strichen zusammengesetzt; E wird durch einen Punkt, F durch einen Strich, A durch einen Punkt und einen Strich bezeichnet. Das Wort Berlin sieht in einer Depesche so aus:

— · · ·   ·   · — ·   · — · ·   · ·   — ·

Der Zeichengeber oder Schlüssel des Drucktelegraphen (Fig. 42) ist ein Stromunterbrecher. Ein aus Messing gearbeiteter zweiarmiger Hebel H N M, ungefähr von der Gestalt einer Thürklinke, wird von metallenen Ständern C D getragen; unten an beide Hebelarme sind bei N und M kleine

Messingsäulen gelöthet, und unter diesen sind an das Brett zwei messingene Kegel O und P geschraubt, von denen der Amboß O mit der Klemmschraube A, und der Kegel P mit der Klemmschraube B metallisch leitend verbunden ist. In der Ruhelage des Schlüssels entfernt eine Feder E das Säulchen N von dem Amboß O. Ist daher der eine Schließungsdrath der Batterie in die Klemmschraube A befestigt, und führt von dem Ständer C der Leitungsdrath nach der andern Station, so ist der Strom bei N zwischen Amboß und Hebel unterbrochen; bringt aber der Telegraphist durch Niederdrücken des Handgriffs H den Hebel in Berührung mit dem Amboß, so ist der Strom hergestellt. Soll eine Depesche abgehen, so drückt der Telegraphist den

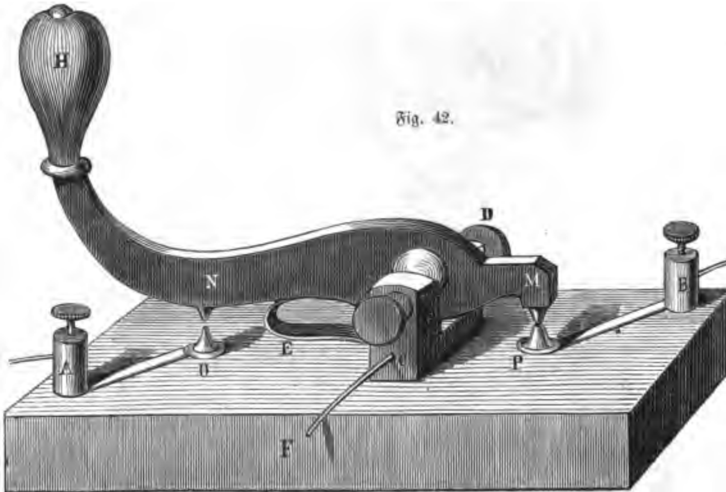


Fig. 42.

Schlüssel schnell hinter einander wiederholt nieder; in Folge davon wird auf der andern Station der Anker vom Elektromagnet des Schreibapparats wiederholt angezogen und macht dort durch sein Klappern den Telegraphisten aufmerksam; derselbe setzt das Räderwerk seines Schreibapparats in Bewegung, und das Telegraphiren kann beginnen.

Um von jeder Station aus telegraphiren und auf jeder Depeschen empfangen zu können, ist jede mit einer Batterie, dem Schlüssel und dem Schreibapparat ausgerüstet.

§. 48.

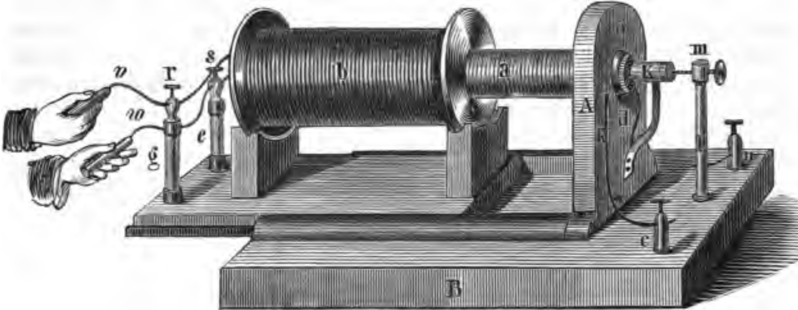
Die Inductionsrolle und die Hammervorrichtung.

1. Die **Inductionselektricität.** Nach dem Gesetz der Vertheilung (§. 21) bewirkt jede Elektricität in ihrer Nähe ein Herbeiströmen der entgegengesetzten Elektricität. Der Schließungsdrath einer galvanischen Kette muß also in einem naheliegenden Drathe einen Strom entgegengesetzter Elektricität hervorbringen. Die Elektricität, welche durch die bloße Nähe

eines galvanischen Stroms in Folge der **Vertheilung** hervorgebracht wird, heißt Inductionselektricität.

2. Die **Inductionsrolle.** Um eine hohle Rolle von Pappe oder Holz a wird ein besponnener Kupferdrath von 100 Fuß Länge gewickelt. Ueber diese Rolle läßt sich eine zweite, die Nebenrolle b, schieben, um die ein etwa

Fig. 43.



300 Fuß langer Drath gewickelt ist. Wird durch die Hauptrolle a ein galvanischer Strom geleitet, so wird im Augenblick seiner Entstehung oder Unterbrechung in der Nebenrolle ein Strom von inducirter Elektricität erregt, der stark auf den menschlichen Körper wirkt.

Die Inductionselektricität bringt beträchtliche Wirkungen auf den menschlichen Körper hervor.

Wirkt nur ein Theil der Hauptrolle a auf die Nebenrolle b, so sind die Wirkungen schwach; je weiter die Nebenrolle über die Hauptrolle geschoben wird, desto stärker sind die Wirkungen auf den menschlichen Körper. Ist der Drath der Nebenrolle mehrere Tausend Fuß oder vollends eine geographische Meile lang, so erscheinen zwischen ihren Schließungsdräthen überspringende Funken, dünne Eisendräthe zwischen den Drathenden der Nebenrolle werden glühend, und die ganze Vorrichtung erhält dann den Namen eines Funkeninductors.

3. Da die inducirten Ströme nur bei Herstellung und Unterbrechung des Stroms entstehen, kommt es auf eine Vorrichtung an, welche den Strom oft unterbricht und herstellt. Dazu ist das Blitzrad (§. 34, 3) geeignet. Wagner in Frankfurt hat einen sinnreichen Disjunctor, die **elektromagnetische Hammervorrichtung**, hergestellt, welche selbst sehr schnell den Strom unterbricht und wiederherstellt. Ein eiserner Hammer k wird von einem federnden Messingstreifen so getragen, daß er sich leicht nach rechts und links bewegen kann; auf der rechten Seite ist an ihn ein kleines Platinablech gelöthet; mit demselben berührt er die metallene Schraube m, deren Spitze zur Herstellung einer besseren Leitung ebenfalls aus Platina gearbeitet ist. Die Schraube m wird von dem messingenen Ständer l getragen, und dieser ist durch einen Drath mit der Klemmschraube n verbunden. Zur Linken des eisernen Hammers k sind in der Hauptrolle a viele eiserne Dräthe angebracht; sie ragen etwas aus derselben hervor und werden, wie ein Elektro-

magnet, magnetisch, wenn der Strom durch die Windungen der Hauptrolle geleitet wird. Werden die beiden Schließungsdräthe einer constanten Kette in die Klemmschrauben n und c befestigt, so durchläuft der Strom von c aus zuerst die Windungen der Rolle a, gelangt von dem Ende derselben, dem Drathe d, zu dem federnden Stiel und dem Kopfe des Hammers k, tritt von hier aus zur Schraube m über und kehrt durch den Ständer l und die Klemmschraube n zur galvanischen Kette zurück. Ist auf diese Weise die Kette geschlossen, so werden die Eisendräthe in a magnetisch, ziehen den Hammer an und entfernen ihn von der Schraube m; dadurch wird der Strom unterbrochen. Durch die Unterbrechung werden die Eisendräthe aber wieder unmagnetisch; der federnde Stiel entfernt den Hammer k von ihnen, bringt ihn mit der Schraube m in Berührung und stellt so den Strom wieder her. Darum bleibt der Hammer in steter hämmernder Bewegung, und an der Unterbrechungsstelle zwischen k und m nimmt man fortwährend galvanische Funken wahr.

V. Die Magnetelektricität.

§. 49.

Die Magnetelektrisirmaschine.

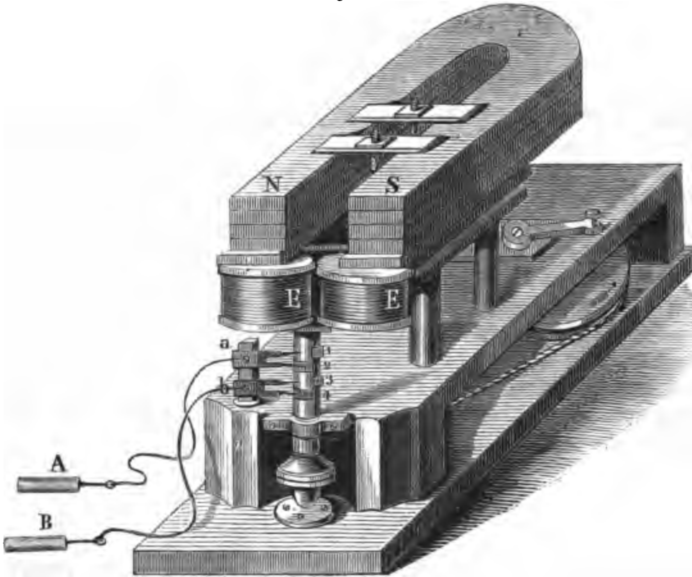
1. Unter Magnetelektricität versteht man die Elektricität, welche durch einen Magnet hervorgebracht wird. Da Eisen magnetisch ist, wenn es von galvanischen Strömen umkreist wird, so ließ sich umgekehrt vermuthen, daß rings um einen Stahlmagnet elektrische Ströme vorhanden seien. Faraday, der sie 1831 entdeckte, bediente sich einer hohlen, mit Kupferdrath bewickelten Rolle und fand mit Hülfe des Multiplicators, daß beim Hineinlegen eines Stahlmagnets in die Drathrolle und beim Herausnehmen desselben elektrische Ströme von kurzer Dauer in dem Kupferdrath erregt wurden.

2. Nun wird Eisen durch Annäherung eines Magnets in Folge der magnetischen Vertheilung (§. 6) plötzlich magnetisch und bei der Entfernung des Magnets wieder unmagnetisch. Daher nahm Faraday einen Elektromagnet, brachte seinen Polen plötzlich einen Stahlmagnet nahe und entfernte ihn eben so plötzlich. Dadurch wurden in dem Elektromagnet magnetelektrische Ströme hervorgerufen. Hierauf gründete er den Bau

3. der **Magnetelektrisirmaschine.** Auf einem passenden Gestell liegt ein kräftiges magnetisches Magazin, und unter den Polen desselben ist ein mit vielen Drathwindungen umwickelter Elektromagnet an einer Axe angebracht und läßt sich mittels einer Kurbel und eines Rades in schnelle drehende Bewegung versetzen. Die Drathenden des Elektromagnets sind an die an der Axe befindlichen Ringe gelöthet, auf diese drücken zwei Federn,

und an diese werden für Heilzwecke die kupfernen Handgriffe geschraubt. Bei der Drehung des Elektromagnets nähert er sich den Polen des magnetischen Magazins und entfernt sich wieder von ihnen; dabei entstehen in seinem

Fig. 44.



Drathe magnetelektrische Ströme, die bis zu den Ringen und Federn gelangen und nicht bloß die galvanische Erschütterung hervorbringen, sondern alle Wirkungen galvanischer Ströme zeigen.

§. 50.

Das Nordlicht.

Das Nordlicht stellt sich als ein aus feurigen Strahlen bestehender Halbkreis dar, dessen Enden die Erde zu berühren scheinen. Längst wußte man, daß die Erscheinung eines Nordlichts die Magnetnadel in unruhige Schwankungen versetzt, und genaue Beobachtungen lehren, daß seine Strahlen nach dem magnetischen Nordpol der Erde als ihrem Mittelpunkt gerichtet sind; darum ist es sicherlich eine Wirkung des Erdmagnetismus. Zugleich hat es aber große Aehnlichkeit mit dem elektrischen Nordlicht im luftverdünnten Raume (§. 17), und es könnte nicht so weit sichtbar sein, wenn der Sitz der Erscheinung nicht in den höchsten, entferntesten Schichten der Atmosphäre wäre, wo die Luft sehr dünn ist. Der magnetische Nordpol der Erde wird, wie die Pole jedes Magnets, von elektrischen Strömen umkreist; diese Elektricität strömt empor und bringt in der verdünnten Luft der höheren Regionen das Nordlicht hervor. Das Nordlicht ist daher eine magnetelektrische Erscheinung.

VI. Die Thermoelektricität.

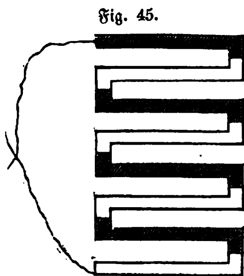
§. 51.
Entdeckung der Thermoelektricität.

Im Jahre 1822 fand der Berliner Naturforscher Seebeck, daß durch ungleiche Erwärmung zusammengelötheter Metalle Elektricität erregt wird. Er hatte eine Wismuthstange und einen Kupferdrath zu einem länglichen Viereck zusammengelöthet, in welchem das Wismuth die untere lange Seite, der Drath die übrigen drei Seiten bildete. Unter der obern Seite des Vierecks, die der Kupferdrath darstellte, schwebte eine Magnetnadel. Wurde nun die nördliche Löthstelle des Vierecks erwärmt, so wurde die Magnetnadel nach Osten hin abgelenkt. Durch die ungleiche Erwärmung war also ein elektrischer Strom entstanden, der im Kupfer positiv war. Spätere Versuche lehrten, daß Wismuth in Verbindung mit jedem andern Metall durch Erwärmung negativ elektrisch wird, und daß eine Verbindung von Wismuth und Antimon die stärksten thermoelektrischen Ströme hervorbringt.

§. 52.
Die Thermosäule.

Ordnet man etwa 50 Wismuth- und Antimonstäbe so, daß immer Antimon auf Wismuth folgt, und löthet man sie an ihren Enden abwechselnd so zusammen, daß sie sich nur an der Löthstelle berühren, so erhält man eine Thermosäule. Gewöhnlich giebt man der ganzen Säule die Gestalt eines Würfels und löthet an die freien Enden des ersten Wismuth- und des letzten Antimonstabes übersponnene Schließungsdräthe. Die Thermosäule wirkt auf die Nerven, bringt Funken hervor, zersetzt Wasser und bewirkt Magnetismus in Stahl und Eisen. Ganz besonders aber ist, da jede noch so unmerkliche Erwärmung oder Abkühlung derselben eine Ablenkung der Magnetnadel im Multiplicator zur Folge hat (§. 211, 5),

Fig. 45.



die Thermosäule das empfindlichste Werkzeug zum Messen der Wärme.

Zweite Gruppe.

Erscheinungen der Anziehung.

I. Die Affinität oder chemische Anziehung.

§. 53.

Chemische Vorgänge.

Nicht selten gehen an Naturgegenständen so bedeutende Veränderungen vor, daß in ihnen die früheren Stoffe nicht sogleich wieder zu erkennen sind. Weder ihre Farbe, ihr Geschmack oder Geruch, noch ihre Festigkeit oder ihr Gewicht sind dieselben geblieben; sie haben ihre früheren Eigenschaften verloren und dafür neue angenommen.

Alle solche Vorgänge, bei denen neue Körper mit neuen Eigenschaften entstehen, heißen chemische Vorgänge.

Nicht bloß in den Gewerben finden chemische Vorgänge eine vielfache Anwendung, sondern auch in der Natur sind sie ununterbrochen thätig, besonders um alles Untergehende zu neuem Leben umzuschaffen; sogar in den **Körpern der Menschen und Thiere** haben fortwährend chemische Vorgänge Statt, doch sind sie der geheimnißvollen Macht unterthan, welche wir Lebenskraft nennen.

Alle chemischen Vorgänge sind entweder chemische Verbindungen oder Zersetzungen, oft beides zugleich.

1. **Chemische Verbindungen.** Erhitzt man mit einander Schwefel und Quecksilber, so verbinden sich beide Stoffe zu einem neuen Körper; es setzt sich aus ihnen eine rother Farbestoff, der Zinnober, zusammen, in welchem weder der gelbe Schwefel, noch das glänzende Quecksilber wieder zu erkennen ist. In der Hitze ziehen sich nämlich die Schwefel- und Quecksilbertheilchen gegenseitig an, und die Anziehungskraft, welche man chemische **Verwandtschaft oder Affinität** nennt, vereinigt die zwei ungleichartigen Stoffe zu einem zusammengesetzten Körper oder einer chemischen Verbindung. Wird Eisen lange geglüht, so bildet sich um dasselbe eine Rinde von Hammerschlag, und wiegt man es nun, so zeigt sich, daß es an Gewicht zugenommen hat; das Eisen zeigt nämlich in der Glühhitze Verwandtschaft mit einer Luftart, mit dem Sauerstoff, der sich in unserer Atmosphäre vorfindet, und geht mit demselben eine Verbindung ein. Wenn man in starker Hitze auf einem Platinablech etwas Soda oder Pottasche

schmelzt und dann feingeriebenen Sand hinzubringt, so erfolgt ein Aufbrausen, und bald hat sich ein neuer Körper, eine klare Glasperle, gebildet.

2. **Chemische Zersetzungen.** Wie sich einfachere Körper zu einem neuen zusammensetzen lassen, so läßt sich auch ihre Verbindung wieder in ihre Bestandtheile zerlegen oder zersetzen. Eine Zersetzung wird häufig durch die **Wärme** bewirkt; so zersetzt sich das Holz beim Verbrennen in Wasserdampf, in einen andern luftförmigen Körper, die Kohlensäure, und die Asche; beim Brennen des Kalks wird aus ihm die Kohlensäure abgeschieden. Ein zweites Zersetzungsmittel ist die **galvanische Elektricität**, die nach §. 36 fast alle Verbindungen, z. B. Wasser, Kupfervitriol, in ihre Bestandtheile zerlegt. Am häufigsten aber wird eine Zersetzung durch die **stärkere Verwandtschaft eines dritten Stoffs** bewirkt. Spiritus löst Harz auf; sobald man jedoch Wasser zu dieser Auflösung gießt, senkt sich das Harz zu Boden und bildet einen Niederschlag; das Wasser hat nämlich eine stärkere Verwandtschaft zum Spiritus und verdrängt das Harz aus seiner Verbindung. In ähnlicher Weise gewinnt man aus dem natürlichen Zinnober das Quecksilber, indem man den Zinnober in großen Retorten zusammen mit Eisen erhitzt; das Eisen ist ein chemisch stärkerer Körper, als das Quecksilber, verdrängt es aus seiner Verbindung mit Schwefel und vereinigt sich selbst damit. Kommen daher mehrere Stoffe mit einander in Berührung, so verbinden sich stets die mit einander, welche die stärkste gegenseitige Verwandtschaft haben.

§. 54.

Die Elemente.

Beim Zersetzen zusammengesetzter Körper erhält man zuletzt Stoffe, die sich nicht weiter zerlegen lassen.

Solche Körper, die sich nicht in einfachere zerlegen lassen, nennt man einfache Stoffe oder Elemente.

Bis jetzt kennt man 65 Elemente, von denen die einen glänzend sind und **Metalle** heißen, während die übrigen **Nichtmetalle** oder Metalloide genannt werden.

Die Metalle theilt man in leichte und schwere ein; unter den Nichtmetallen unterscheidet man luftförmige, flüssige und feste. Ungefähr die Hälfte der Elemente kommt höchst selten in der Natur vor; folgendes sind

die wichtigsten Elemente.

I. Nichtmetalle.	II. Metalle.
A. Luftförmige:	A. Leichte:
1. Sauerstoff.	1. Kalium.
2. Wasserstoff.	2. Natrium.
3. Stickstoff.	3. Calcium.
4. Chlor.	4. Aluminium.

I. Nichtmetalle.	II. Metalle.
B. Flüssige.	B. Schwere:
	5. Eisen.
	6. Zinn.
C. Feste:	7. Zink.
	8. Blei.
5. Jod.	9. Wismuth.
6. Kohlenstoff.	10. Antimon.
7. Schwefel.	11. Kupfer.
8. Phosphor.	12. Quecksilber.
9. Arsen.	13. Silber.
10. Kiesel.	14. Gold.
	15. Platina.

§. 55.

Geschichte der Chemie.

1. Die Völker des Alterthums hatten nur vereinzelte chemische Kenntnisse und verstanden sich hauptsächlich auf die Bearbeitung der Metalle und die Bereitung der Farbestoffe. Erst vier Jahrhunderte nach Christo kam aus dem Lande, dessen Priester mit den Naturkräften vertrauter waren, aus **Aegypten**, die Kunde von einer dort getriebenen, geheimnißvollen Kunst, welche nach dem uralten Namen Aegyptens **Chemia**, d. h. ägyptische Kunst, genannt wurde und sich die Aufgabe stellte, **unedle Metalle in Gold zu verwandeln.** Es galten die Metalle damals für zusammengesetzte Körper, und man suchte einen Stoff, den Stein der Weisen, welcher, mit schmelzenden unedlen Metallen in Berührung gebracht, dieselben in Gold verwandelte. Das Bestreben, diesen Stoff ausfindig zu machen, ging nach der Eroberung Aegyptens durch die Araber zu diesen über, welche der Goldmacherkunst den Namen **Alchemie** gaben. Durch die Araber kam dieselbe nach Spanien; Wißbegierige aus allen Ländern besuchten die dortigen arabischen Universitäten und breiteten die hier gesammelten Kenntnisse in ihrer Heimath aus. In dem 13. Jahrhundert finden sich daher Alchemisten oder Adepten in Frankreich, Deutschland und England und bald auch in den übrigen Ländern Europa's; sie gaben vor, das große Geheimniß zu besitzen, verübten manche Betrügereien, die späterhin entdeckt wurden, brachten aber auch in Gegenwart sonst glaubwürdiger Zeugen Metallverwandlungen in Gold zu Stande, welche geprüft und als vollkommen gelungen anerkannt wurden. Als der dreißigjährige Krieg die Mittel der deutschen Fürsten erschöpft hatte, wurden an fast allen Höfen die Alchemisten gesucht, aber auch, um dem Bekanntwerden des Geheimnisses vorzubeugen, zugleich streng beaufsichtigt und bewacht. Der Apotheker Böttcher in Berlin, dessen man sich versichern wollte, weil er eine Metallverwandlung bewerkstelligt haben sollte, entfloh 1761 nach Sachsen und gestand endlich, nachdem er hier die Anfertigung des Porzellans entdeckt, daß er sich nie auf die Goldmacherkunst verstanden habe.

2. Unterdessen hatte im 16. Jahrhundert der berühmte deutsche Arzt **Paracelsus**, der jede Krankheit als eine falsche Mischung der Elemente in dem menschlichen Körper ansah, durch **chemische Heilmittel** glänzende Kuren vollbracht, manche noch jetzt geschätzte Arzneien angegeben und den Grund zur Apothekerkunst gelegt. Daher ging die Chemie in die Hände der Aerzte über, und als neuer Zweck der alten Kunst galt nunmehr die Heilung von Krankheiten.

3. Nachdem so die Alchemie allmählich in Vergessenheit gerathen war und sich der Chemie in der Heilkunde bereits eine wichtige Anwendung eröffnet hatte, suchte man seit dem 18. Jahrhundert die Körper selbst näher zu erforschen, sie in ihre Bestandtheile zu zerlegen und aus denselben wieder zusammenzusetzen. Die Engländer Boyle, Cavendish und Priestley und der Franzose **Lavoisier**, der ein Opfer der Guillotine ward, haben die Wissenschaft durch die wichtigsten Entdeckungen bereichert; Davy zu London und Berzelius zu Stockholm haben die chemische Anziehung auf die elektrische Anziehung zurückzuführen versucht, weil alle Körper bei gegenseitiger Berührung elektrisch werden und desto größere Affinität zeigen, je stärker ihre entgegengesetzten Elektricitäten sind. Faraday zu London, Dumas zu Paris und Liebig zu München sind die berühmtesten Chemiker der neuesten Zeit.

§. 56.

Der Sauerstoff.

Der Sauerstoff, den man in der Natur nie in freiem Zustande, sondern mit andern Stoffen verbunden oder vermengt antrifft, ist 1774 durch den Engländer Priestley entdeckt und durch Erhitzen aus einer seiner Verbindungen, aus dem rothen Quecksilberoxyd, gewonnen worden. Priestley hatte rothes Quecksilberoxyd in eine kleine gläserne Retorte (oder in einen Probircylinder) geschüttet, befestigte luftdicht in die Oeffnung derselben eine Gasleitungsröhre und tauchte die untere Oeffnung derselben in eine mit Wasser gefüllte Wanne

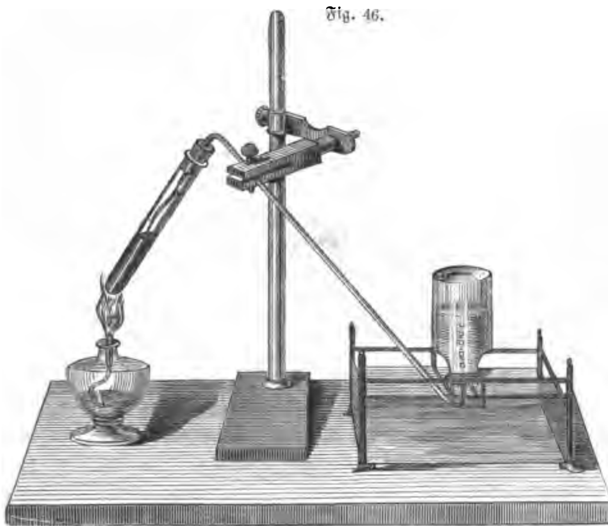


Fig. 46.

(pneumatische Wanne). Wurde nun das Quecksilberoxyd in der Retorte durch eine darunter angebrachte Spirituslampe erhitzt, so stiegen aus der Gasleitungsröhre durch das Wasser in der Wanne Luftblasen auf, während die Retorte anfing, sich inwendig mit Quecksilberkügelchen zu beschlagen. Das Quecksilberoxyd wurde also durch die Wärme in Quecksilber und in eine Luftart, den Sauerstoff, zersetzt. Um den Sauerstoff oder irgend eine andere Luftart aufzufangen, nimmt man ein Glas, füllt es mit Wasser, verschließt seine Oeffnung mit dem Finger und stellt es umgekehrt ins Wasser der pneumatischen Wanne über die Gasleitungsröhre. Entfernt man nun den Finger, so läuft kein Wasser aus dem Glase (§. 131); bald steigen aber Luftblasen aus der Gasleitungsröhre in das Glas empor und verdrängen Wasser aus demselben. Ist das Glas ganz mit der Luftart gefüllt, so verschließt man es mit einem Kork. Auch aus Braunstein und chlorsaurem Kali läßt sich durch Erhitzen, aus Wasser durch den galvanischen Strom, und aus grünen Pflanzentheilen dadurch, daß man sie in einer mit Wasser gefüllten Glasglocke dem Sonnenlicht aussetzt, Sauerstoff entwickeln.

Seinen Namen hat der Sauerstoff davon erhalten, daß er, mit Nichtmetallen verbunden, vorzugsweise Säuren bildet, z. B. mit Schwefel Schwefelsäure. Er ist durchsichtig und farblos, wie die atmosphärische Luft. Taucht man in ein mit Sauerstoff gefülltes Glas ein glimmendes Stückchen Schwamm oder Zunder, so entflammt sich dasselbe und brennt mit lebhafter Flamme; Phosphor verbrennt mit außerordentlichem Lichtglanz und Eisendrath unter Funkensprühen. **Der Sauerstoff unterscheidet sich demnach durch die außerordentliche Lebhaftigkeit, mit welcher angezündete Körper in demselben brennen**; durch die Wärme wird ihre Verwandtschaft zu demselben erhöht, und sie verbinden sich mit ihm beim Verbrennen. Ebenso **unterhält der Sauerstoff das Athmen** viel lebhafter, als die uns umgebende Luft, und kleine Thiere werden in Gefäßen mit reinem Sauerstoff auf kurze Zeit weit munterer.

Die meisten Minerale enthalten Sauerstoff; er macht fast die Hälfte der Pflanzen und Thierkörper aus und bildet einen Bestandtheil des Wassers und einen Theil der atmosphärischen Luft; er ist somit einer der verbreitetsten Körper und macht über ⅓ unserer Erde aus. Da er zugleich die meisten Verbindungen eingeht, so ist der Sauerstoff das wichtigste und einflußreichste aller Elemente.

§. 57.

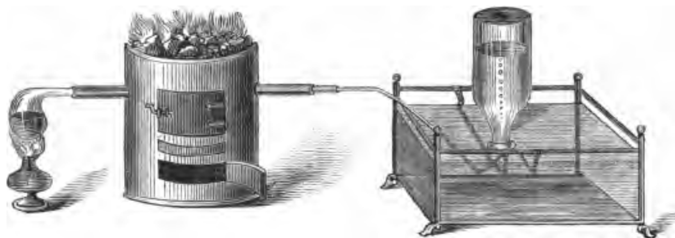
Der Wasserstoff.

1. Wasser ist eine Verbindung von Sauerstoff und Wasserstoff; man erhält daher Wasserstoff, wenn man dem Wasser seinen Sauerstoff entzieht. Der Sauerstoff des Wassers verbindet sich aber mit darin befindlichen Metallen, wenn die Verwandtschaft derselben zum Sauerstoff entweder durch starke Erhitzung oder durch hinzugegossene Säuren erhöht wird.

Lavoisier zu Paris befestigte an eine mit Wasser gefüllte Retorte einen Flintenlauf, den er durch das Feuer eines kleinen Ofens bis zum Roth-

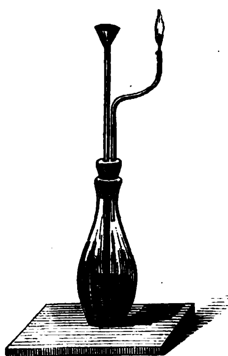
glühen erhitzte; das Wasser in der Retorte ward durch eine Spirituslampe erwärmt, die Wasserdämpfe strömten durch den glühenden Flintenlauf

Fig. 47.



und gaben an denselben ihren Sauerstoff ab. Wurde der ausströmende Wasserdampf aufgefangen, so wog er mit der Gewichtszunahme des Eisens zusammen eben so viel, als der Verlust an Wasser in der Retorte betrug.

Fig. 48.



2. Der Engländer Cavendish hat die Darstellung des Wasserstoffs auf eine bequemere Weise, durch Auflösen von Metallen in verdünnten Säuren, gelehrt. Man bedient sich dazu gewöhnlich einer Gasentwickelungsflasche, einer Flasche, durch deren Kork eine trichterförmige Glasröhre und ein Gasleitungsrohr luftdicht hindurchgehen. In die Flasche werden Zink- oder Eisenstückchen gethan und dann der Kork mit seinen zwei Röhren aufgesetzt; gießt man nun durch den Trichter zuerst etwas Wasser und dann nach und nach Schwefelsäure, so verbindet sich der Sauerstoff des Wassers mit den Metallstückchen, und der Wasserstoff wird frei und strömt aus der Gasleitungsröhre hervor, nachdem aus derselben die in der Flasche enthaltene atmosphärische Luft entwichen ist. Nähert man der Gasleitungsröhre eine Flamme, so entzündet sich die ausströmende Luft;

der Wasserstoff brennt mit wenig leuchtender, blauer Flamme.

3. Aus Sauerstoff und Wasserstoff läßt sich wieder Wasser zusammensetzen, indem man beide Luftarten aus zwei engen Röhren in eine Glasglocke einströmen läßt und den Wasserstoff anzündet. Der entstehende Wasserdampf setzt sich an die innern Wände der Glocke und fließt in Tropfen an denselben hinab.

Das Wasser besteht aus einem Maß Sauerstoff und zwei Maß Wasserstoff.

Mengt man beide Elemente in diesem Verhältniß unter einander, so verbinden sie sich noch nicht, sondern bilden eine Luftart, das Knallgas, das, wenn es angezündet wird, gefährliche Explosionen veranlassen kann, weil der sich nun daraus bildende Wasserdampf durch die Hitze ungemein ausgedehnt wird.

4. Wenn man in der Fortleitungsröhre einer Gasentwickelungsflasche einen Strohhalm befestigt, darauf einen Tropfen Seifenwasser bringt und nun Wasserstoff entwickelt, so bilden sich mit Wasserstoff gefüllte Seifenblasen und steigen mit Leichtigkeit empor.

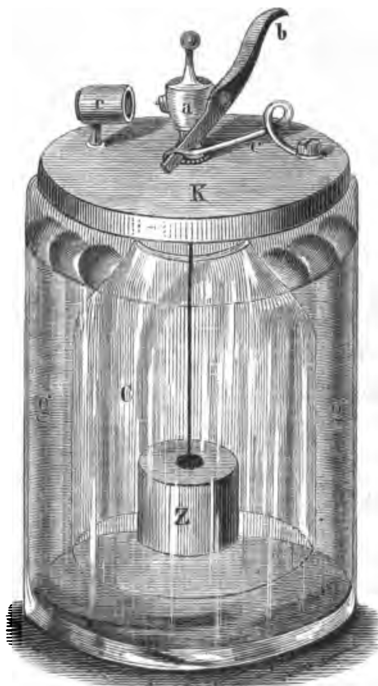
Der Wasserstoff ist 14 Mal leichter, als die atmosphärische Luft.

§. 58.

Anwendung des Wasserstoffs für das Platinafeuerzeug und die Luftballons.

Wegen seiner großen Leichtigkeit hat man den Wasserstoff zum Füllen der Luftballons benutzt, sowie man von seiner Brennbarkeit beim Platinafeuerzeuge eine nützliche Anwendung gemacht hat.

Fig. 49.



1. Die **Platinazündmaschine** enthält eine Vorrichtung zur Entwickelung von Wasserstoff und einen Platinaschwamm, welcher glühend wird, sobald man durch Niederdrücken eines Hahns den Wasserstoff gegen denselben strömen läßt. In einem größeren, etwa zur Hälfte mit verdünnter Schwefelsäure gefüllten Glase hängt nämlich ein gläserner Cylinder, und ein Messingdrath innerhalb desselben trägt einen Zinkkolben. Mit seiner oberen Oeffnung ist dieser Cylinder in eine Metallröhre gekittet, die über den Deckel der Maschine hervorragt und mit einem Hahn versehen ist. Wird der Hahn geöffnet, so strömt der in dem Cylinder angesammelte Wasserstoff aus der feinen Oeffnung der Metallröhre seitwärts aus und berührt den in einer Metallkapsel angebrachten, sauerstoffreichen Platinaschwamm. Der Wasserstoff verbindet sich mit dem Sauerstoff desselben, der Platinaschwamm erglüht, und der Wasserstoff entzündet sich. Weil aber aus dem Cylinder Gas ausgeströmt ist, fließt nun unten in denselben zum Zink wieder Schwefelsäure; es entwickelt sich neues Gas, füllt den Cylinder wieder ganz und verdrängt daraus wieder alle Säure. Der Zweck des Cylinders in der Zündmaschine ist also der, daß die Gasentwickelung nur dann stattfinde, wenn die Maschine gebraucht worden ist.

2. Die **Luftballons** oder **Aërostaten.**

Die große Leichtigkeit des Wasserstoffs gab Veranlassung zur Erfindung der Luftballons; aber vergebens versuchte man anfangs in England, damit gefüllte Körper steigen zu lassen. Da wurden durch den Gedanken, daß ja der warme Rauch stets emporsteige, die Papierfabrikanten Montgolfier zu Anonay im südlichen Frankreich bewogen, 1783 einen großen Ballon aus Papier anzufertigen, der unten eine weite Oeffnung hatte, und in einem darunter gehängten Drathkorbe Stroh anzuzünden, damit **durch die erhitzte Luft** des Ballons, welche um ⅓ leichter geworden, derselbe emporgetragen würde. Der Aërostat stieg wirklich bis zu einer Höhe von 6000 Fuß. Nach den Erfindern werden die mit erhitzter Luft gefüllten Ballons **Montgolfieren** genannt; aus gewöhnlichem Papier gefertigt, steigen sie leicht, wenn sie über 5 Fuß Durchmesser haben.

Diese Erfindung benutzte der Professor Charles zu Paris, ließ noch im Jahre 1783 einen großen Ballon aus Taffet anfertigen und füllte ihn, statt mit erwärmter Luft, mit Wasserstoff. Er stieg selbst, nachdem wenige Tage früher Pilatre de Rozier mit einer Montgolfiere von dem Schlosse La Müette bei Paris die erste Luftfahrt gewagt hatte, in Gegenwart einer jubelnden Menge aus dem Garten der Tuilerien empor, und nach ihm wurden die mit Wasserstoff gefüllten Ballons **Charlieren** genannt. Blanchard vollendete 1785 glücklich seine Luftreise von England über den Canal nach Frankreich, und die Franzosen wandten die Aërostaten in den Revolutionskriegen an, um die Stellung der Feinde zu erkennen.

Eine dritte Art der Füllung hat in neuerer Zeit der englische Luftschiffer Green in Aufnahme gebracht, indem er **Steinkohlengas** (Kohlenwasserstoff, §. 62) anwendet, das wohlfeiler und schneller zu gewinnen ist, als reiner Wasserstoff, zugleich aber, weil es schwerer ist, einen größeren Ballon nothwendig macht.

Das Sinken des Ballons läßt sich durch Oeffnen einer Klappe im oberen Theile desselben bewirken, zu welcher dann Gas herausströmt, das Steigen durch Hinabwerfen des mitgenommenen Ballastes. Indem so der Luftschiffer durch Aufsteigen oder Hinabsinken eine ihm nach Wunsch sich bewegende Luftschicht aufsuchen kann, ist ihm einigermaßen ein Lenken des Ballons möglich.

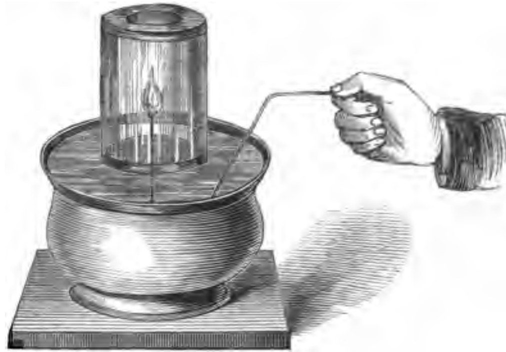
§. 59.

Der Stickstoff und die atmosphärische Luft.

Bringt man über eine Schüssel mit Wasser in Spiritus getauchte Baumwolle, zündet man diese an und stellt eine gewöhnliche Luft enthaltende Glasglocke darüber, so beginnt das Wasser unten in der Glocke emporzusteigen, es verschwindet in derselben ein Theil der Luft, der Sauerstoff; die Flamme wird schwächer und erlischt, wenn der fünfte Theil der anfangs in der Glocke befindlichen Luft verzehrt worden ist. Der Sauerstoff macht den fünften Theil der atmosphärischen Luft aus; der andere Bestandtheil derselben

ist in der Glasglocke übrig geblieben und füllt $^4/_5$ derselben an. Er heißt Stickstoff, weil darin Thiere ersticken und Lichter erlöschen; Beides nicht etwa, als ob der Stickstoff, den wir ja stets, mit Sauerstoff gemengt, einathmen, giftig wäre, sondern weil der zum Leben und Verbrennen nöthige Sauerstoff fehlt.

Fig. 50.



Die atmosphärische Luft ist ein Gemenge von $^1/_5$ Sauerstoff und $^4/_5$ Stickstoff.

An den verschiedensten Stellen der Erde findet sich eben dies Verhältniß zwischen dem Sauerstoff und Stickstoff der Luft. Den Sauerstoffgehalt derselben ermittelt man gewöhnlich durch die **Eudiometer**, eingetheilte Glasröhren, in welche man zu einer bestimmten Luftmenge eine abgemessene Menge Wasserstoff und vielleicht ein Platinakügelchen bringt, um den Wasserstoff mit dem Sauerstoff in der Röhre zu Wasser zu verbinden und aus der erfolgten Raumabnahme auf die Menge des Sauerstoffs schließen zu können, der den dritten Theil des verschwundenen Gases ausmacht (§. 57, 3).

§. 60.
Das Chlor.

Das Chlor ist ein blaßgrünes, beim Einathmen giftiges Gas und bildet den Hauptbestandtheil des Kochsalzes. Es zeichnet sich durch seine große Verwandtschaft zum Wasserstoff aus und zerstört, indem es ihnen denselben entreißt, sowohl die Farbestoffe, als auch die in Krankenzimmern entstehenden, der Gesundheit nachtheiligen Gase. Bei der **Chlorräucherung** wird etwas Chlorkalk in eine Schale gethan und mit wenigen Tropfen verdünnter Salzsäure befeuchtet, worauf sich Chlor entwickelt. Da es die Pflanzenfarben zerstört, so bleicht man bei der Schnell- oder **Chlorbleiche** durch Eintauchen in eine Lösung von Chlorkalk in Wasser binnen wenigen Stunden Leinwand und Baumwolle zur blendendsten Weiße. Aus Chlorkalk und Spiritus bereitet man das **Chloroform**, eine wasserhelle, äpfelartig riechende Flüssigkeit, deren eingeathmete Dämpfe einen Zustand der Bewußtlosigkeit hervorrufen und bei chirurgischen Operationen angewandt werden.

§. 61.
Der Kohlenstoff.

Der Kohlenstoff oder die **Kohle** ist ein festes Element, das sich in der Natur selten ganz rein vorfindet. Die reinste Art desselben ist der

Diamant (krystallisirter, farbloser Kohlenstoff); obwohl er gar keine Aehnlichkeit mit der gewöhnlichen Kohle hat, liefert doch seine Verbrennung in Sauerstoff, d. h. seine Verbindung mit demselben, dasselbe kohlensaure Gas, wie alle verbrennende Kohle. Ziemlich reine, zuweilen mit wenig Eisen verbundene Kohle ist der **Graphit**, das Reißblei, jenes blauschwarze Mineral, aus dem unsere Bleistifte gefertigt werden. Die dritte Form, in welcher der Kohlenstoff noch weniger rein vorkommt, ist die **Pflanzenkohle**; alle Pflanzen und Thiere bestehen zum Theil aus Kohle, die mit andern Stoffen chemisch verbunden ist und bei starker Erhitzung von denselben verlassen wird. Pflanzen- und Knochenkohle wird daher durch eine unvollständige Verbrennung hergestellt; Holzkohle wird im Großen in Meilern gebrannt; Stein- und Braunkohlen sind durch gewaltige Erdrevolutionen begrabene und durch Fäulniß verkohlte Bäume und Pflanzen der Vorzeit.

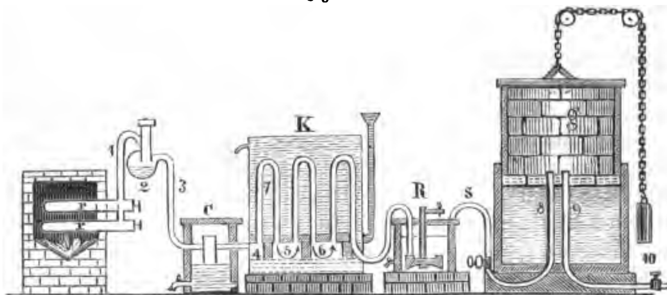
§. 62.

Kohlenwasserstoffgas und Gasbeleuchtung.

Erhitzt man Holzspäne oder zerstoßene Steinkohlen über der Spirituslampe in einem Gläschen, durch dessen Kork eine Glasröhre hindurchgesteckt ist, so entwickelt sich aus dem Holz oder der Steinkohle ein Gas, strömt aus der Röhre hervor, läßt sich hier anzünden und brennt mit hellleuchtender Flamme. Es besteht aus Kohlenstoff und Wasserstoff und führt den Namen **Kohlenwasserstoffgas** oder **Leuchtgas**.

Im Großen ist dies Gas zuerst in England gewonnen und zur **Gasbeleuchtung** verwendet worden. In den Oefen der Gasanstalt liegen große, gußeiserne oder thönerne Röhren, Retorten, welche mit Steinkohlen

Fig. 51.



Ofen. Theercisterne. Kühlapparat. Reinigungsapparat. Gasometer.

gefüllt, verschlossen und in Rothglühhitze versetzt werden. Das sich entwickelnde Gas ist unrein und enthält noch Dämpfe von Steinkohlentheer, schweflige Säure und Kohlensäure. Um es davon zu befreien, läßt man es aus den Retorten durch kleinere Röhren in einen ringsum verschlossenen Behälter, die Theercisterne, strömen, wo es den Steinkohlentheer absetzt; aus der Theercisterne leitet man es zuerst durch den Kühlapparat, in welchem es durch viele von kaltem Wasser umspülte Röhren auf und nieder steigt und

von den Dämpfen vollends befreit wird, und sodann durch den Reinigungsapparat, der Kalkwasser oder angefeuchteten, auf Moos ausgebreiteten Kalk enthält und mittels desselben dem Leuchtgas die schweflige Säure und die Kohlensäure nimmt. Nachdem es so von den fremdartigen Beimischungen befreit ist, sammelt sich das Gas in dem Gasometer, einem unten offenen Behälter aus Eisenblech von der Größe eines Hauses, der in eine mit Wasser gefüllte Cisterne hinabhängt, und hebt ihn allmählich empor, bis er nur noch etwas ins Wasser eintaucht. Soll nun das Gas verwendet werden, so wird das Gasometer mit einem Gewicht beschwert und der Hahn einer aus demselben führenden Röhre geöffnet, worauf das Leuchtgas durch dies Hauptrohr und kleinere in der Erde liegende Röhren bis zu den Laternen strömt und hier nach dem Oeffnen eines Hahns angezündet wird.

§. 63.

Das Verbrennen und das Löschen des Feuers.

1. Wenn wir einen brennbaren Körper anzünden, so theilen wir ihm zunächst einen höheren Wärmegrad mit, entwickeln dadurch aus ihm Kohlenstoff und Wasserstoff und verbinden diese Gase mit dem Sauerstoff der Luft. Wie Holz und Steinkohle, so liefert jeder unserer gewöhnlichen Brennstoffe bei der Erhitzung Kohlenwasserstoffgas, während alle Körper, die beim Verbrennen nicht gasförmig werden, nur glühen können. Das Feuer ist sonach ein chemischer Vorgang, bei dem sich Gase entwickeln und verbinden.

Die Flamme ist eine Vereinigung von Kohlenstoff und Wasserstoff mit dem Sauerstoff der Luft.

Fig. 52.



2. An der gewöhnlichen Lichtflamme lassen sich drei Theile unterscheiden, im Innern ein nicht brennender, dunkler Kern von Kohlenwasserstoff, rings um ihn eine Wasserstoffflamme, in welcher die Kohlentheilchen weiß glühen und hell leuchten, und um diese ein dünner Schleier, in welchem die Kohle sammt dem Wasserstoff verbrennt und die größte Hitze erregt wird. Läßt man in jenen dunkeln Kegel von Kohlenwasserstoffgas im Innern der Flamme Luft, also auch Sauerstoff, eintreten, wie dies bei den Lampen mit doppeltem Luftzuge der Fall ist, so verbrennt das Gas auch hier, und man erhält ein helleres Licht.

3. Durch das Verbrennen des Wasserstoffs entsteht Wasserdampf, durch die Verbindung der Kohle mit Sauerstoff Kohlensäure; wenn der atmosphärischen Luft durch die Verbrennung Sauerstoff entzogen wird, so bleibt Stickstoff übrig. Die in luftförmige Stoffe umgewandelten Brennmaterialien oder

der Rauch besteht aus Kohlensäure, Wasserdampf und Stickstoff.

Hält man daher über ein brennendes Licht eine Flasche, so daß der Rauch hineinzieht, so beschlagen die innern Wände der Flasche mit Wassertropfen, und hineingegossenes und umgeschütteltes Kalkwasser trübt sich, woran das Vorhandensein von Kohlensäure zu erkennen ist. Strömt zu einer Flamme nicht hinreichende Luft, oder kühlt man sie durch ein darüber

gehaltenes Metallstück ab, so kann nicht aller Kohlenstoff verbrennen und bildet dann Ruß.

4. Stellt man über ein brennendes Licht einen Lampencylinder so, daß unten keine Luft zur Flamme treten kann, so erlischt das Licht. Dagegen brennt eine mit Zuglöchern versehene Lampe mit einem Cylinder heller, als ohne denselben, weil die erhitzte Luft sich dann nicht nach allen Seiten ausbreiten kann, sondern nach oben ziehen muß, und dadurch in Lampencylindern, wie in Schornsteinen, der sauerstoffbringende Luftzug vermehrt wird. Da zum Verbrennen ein höherer Wärmegrad und der Luftzug nöthig ist, so

läßt Feuer durch Abkühlung oder durch Absperrung der Luft sich löschen.

Beim Löschen mit kaltem Wasser geschieht beides zugleich; der Luftzutritt wird gehemmt, indem man die Oeffnungen brennender Schornsteine oder Keller verstopft.

§. 64.

Die Metalloide Jod, Schwefel, Phosphor, Arsen und Kiesel.

1. Das **Jod** ist im Seetang und fast allen andern Pflanzen des Meeres enthalten; es ist ein fester, dunkelbrauner Körper, der als Arznei und bei der Anfertigung der Lichtbilder gebraucht wird. Beim Erhitzen in einer Glasröhre verwandelt es sich in einen prachtvollen, violetten Dampf, der sich beim Erkalten wieder zu kleinen, glänzenden Krystallen verdichtet.

2. Der **Schwefel** findet sich gediegen oder in Verbindung mit Metallen. Er brennt leicht und mit blauer Flamme und wird als das gewöhnlichste Mittel zum Anzünden benutzt.

3. Der **Phosphor** wird aus Thierknochen bereitet, welche aus phosphorsaurem Kalk bestehen. Er sieht blaßgelb aus, entzündet sich bei sehr geringer Wärme und wird deshalb unter Wasser aufbewahrt. Die nach Knoblauch riechenden Phosphordämpfe und kleinen Phosphortheilchen verbinden sich mit dem Sauerstoff der Luft, indem sie im Dunkeln leuchten (phosphoresciren). Bei der Anfertigung der Streichfeuerzeuge ist der Phosphor unentbehrlich.

4. Das **Arsen.** Seine Verbindung mit Sauerstoff heißt Arsenik, hat weiße Farbe und wirkt in den kleinsten Quantitäten tödtlich. Um das Vorhandensein von Arsenik zu erkennen, thut man etwas von der zu untersuchenden Substanz in eine Wasserstoffentwickelungsflasche und zündet das ausströmende Gas an; es brennt, wenn es Arsenikwasserstoff ist, mit blauweißer Flamme und setzt, wenn man eine kalte Glas- oder Porzellanscheibe in die Flamme hält, an die Scheibe das Arsenik unverbrannt ab als eine dünne Schicht von brauner oder schwarzer Farbe und metallähnlichem Aussehen.

5. Der **Kiesel** kommt nie in freiem Zustand vor, bildet aber einen Hauptbestandtheil des Sandes, Quarzes und überhaupt fast aller Gesteine und macht daher nächst dem Sauerstoff die Hauptmasse der Erde aus.

§. 65.

Die Metalle.

Alle Metalle sind undurchsichtig und werfen das Licht von ihrer glatten Oberfläche mit einem eigenthümlichen Glanz zurück; alle sind schmelzbar und die besten Leiter der Wärme und der Elektricität; sie verbinden sich sämmtlich mit Sauerstoff, Schwefel und Chlor und finden sich in der Erde meist in solchen Verbindungen, seltener rein oder gediegen. Die **leichten Metalle**, Kalium, Natrium, Calcium, Aluminium, sind theils leichter, theils wenig schwerer, als Wasser und kommen in der Natur stets als Salze vor. Die **schweren Metalle** verbinden sich zum Theil an ihrer Oberfläche mit dem Sauerstoff der Atmosphäre, wie denn z. B. das Eisen rostet, und heißen dann unedle Metalle, während die edlen Metalle, Quecksilber, Silber, Gold und Platina, an der Luft unverändert bleiben.

§. 66.

Die zusammengesetzten Körper.

Die Hauptklassen zusammengesetzter Körper sind die Säuren, die Basen und die indifferenten Stoffe.

Jeder mit Sauerstoff verbundene Körper heißt ein **Oxyd**; so ist Eisenrost wasserhaltiges Eisenoxyd.

Die Oxyde der Nichtmetalle sind meistens **Säuren** und zeichnen sich durch ihren sauren Geschmack und dadurch aus, daß sie blaue Pflanzenfarben, wie Veilchensaft oder Lackmustinctur, roth färben. Die bekanntesten Säuren sind Schwefelsäure (Vitriol), Salpetersäure (Scheidewasser) und Kohlensäure, unter denen die letzte sich in gasförmiger Gestalt über dem Boden mancher Höhlen gelagert hat, sich aber auch mit Wasser verbindet und einen Bestandtheil sehr vieler Mineralwasser, z. B. des Selterser Wassers, ausmacht. Neben diesen Sauerstoffsäuren giebt es jedoch auch Wasserstoffsäuren, zu denen die Salzsäure gehört.

Die meisten Oxyde der Metalle heißen **Basen**, haben einen laugenhaften (alkalischen) Geschmack und geben den durch eine Säure gerötheten Stoffen ihre blaue Farbe wieder. Die Wirkungen einer Basis sind also denen einer Säure entgegengesetzt. Wenn diese beiden Arten zusammengesetzter Körper, Säuren und Basen, sich verbinden, so entstehen **Salze**, wie z. B. Grünspan, der essigsaures Kupferoxyd, und Höllenstein, der salpetersaures Silberoxyd ist. Die Salze haben weder die Eigenschaften der Säuren, noch die der Basen.

Insofern sind ihnen ähnlich die **indifferenten Stoffe**, bei Weitem die Mehrzahl der Thier- und Pflanzenstoffe, wie Stärke, Zucker, Weingeist, die weder saure noch basische Eigenschaften zeigen. Merkwürdige Vorgänge, die beim Brauen, Branntweinbrennen und der Essigfabrikation benutzt werden, verwandeln Stärke in Zucker, Zucker in Weingeist und Weingeist in Essig.

§. 67.
Die Umbildung der Stärke in Zucker.

Kartoffeln, Getreide, Hülsenfrüchte und das Mark der Palmen sind reich an **Stärke,** die, wenn jene Pflanzentheile zerrieben und in Wasser ausgepreßt werden, darin als ein weißer Bodensatz niedersinkt. Wird nun sehr verdünnte Schwefelsäure gekocht und ihr nach und nach etwa halb so viel mit Wasser angerührte Stärke zugesetzt, darauf zur Mischung Kreide hinzugethan, damit diese die Schwefelsäure an sich reiße, und endlich die Flüssigkeit filtrirt und eingedampft, so erhält man einen sehr süßen Syrup, den Stärkesyrup, und aus diesem leicht Stärkezucker. Merkwürdiger Weise entwickelt sich in der keimenden Gerste, dem Malz, ein Stoff, **Diastase** genannt, welcher dieselben Dienste thut, wie die Schwefelsäure. Daher die große Wichtigkeit desselben für Brauer und Branntweinbrenner; denn wenn aus Kartoffeln oder Getreide Bier oder Branntwein gewonnen werden soll, so muß stets zuerst die in jenen enthaltene **Stärke in Zucker umgebildet** werden.

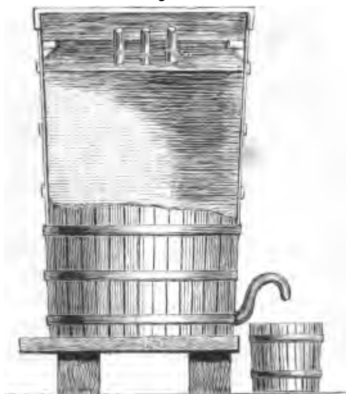
§. 68.
Die Gährung.

Man fülle eine Flasche zum Theil mit Zuckerwasser, setze demselben etwas Bierhefe zu und stelle die Flasche an einen mäßig warmen Ort. In kurzer Zeit trübt sich die Flüssigkeit und geräth in Bewegung, wobei sich Gas entwickelt. Leitet man dies Gas in ein mit Kalkwasser gefülltes Gläschen, so beweist die dadurch bewirkte Trübung des Kalkwassers, daß das fragliche Gas nichts Anderes, als Kohlensäure ist. Hat die gährende Flüssigkeit sich wieder geklärt, so schmeckt sie nicht mehr süß, sondern nach Branntwein oder Weingeist.

Bei der Gährung zerfällt der Zucker in Kohlensäure und Weingeist.

Auf diesem Vorgange beruht die Bereitung aller geistigen Getränke, die des Biers durch Zersetzung des süßen Malzabsudes, und des Weins durch die von selbst eintretende Gährung des Traubensaftes.

Fig. 53.



§. 69.
Die Essigbildung.

Werden weingeisthaltige Flüssigkeiten, wie Bier, Wein oder Branntwein, mit etwas Essig vermischt und mehrere Wochen lang in mäßiger Wärme dem Einfluß der Luft ausgesetzt, so verwandeln sich die Flüssigkeiten in Essig. In einem festverschlossenen Gefäße bildet sich kein Essig, sondern nur beim Zutritt der atmosphärischen Luft; der anfangs hineingegossene Essig zieht den Sauerstoff derselben an und giebt ihn an den Weingeist ab.

Die Essigbildung besteht in einer Verbindung des Weingeistes mit dem Sauerstoff der Luft.

Man kann daher weit schneller Essig bereiten, indem man verdünnten Branntwein mehrmals durch hohe, mit Holzspänen gefüllte und von der Luft durchströmte Fässer gießt und ihn so mit viel mehr Sauerstoff in Berührung bringt.

§. 70.

Thier- und Pflanzenleben.

Wenn man die eingeathmete atmosphärische Luft durch eine in den Mund genommene Glasröhre in klares Kalkwasser ausathmet, so wird dasselbe trübe; die ausgeathmete Luft enthält also Kohlensäure. Bei Menschen und Thieren verbindet sich der eingeathmete Sauerstoff der Luft in den Lungen mit dem Kohlenstoff des Blutes, und so entsteht Kohlensäure, die sammt Wasserdampf ausgeathmet wird. Aus den grünen Blättern und Zweigen der Pflanzen aber, welche des Nachts Wasserdampf und Kohlensäure einathmen und den einen Bestandtheil derselben, den Kohlenstoff, behalten, erhält die Luft unter dem Einfluß des Sonnenlichts (vergl. §. 56) wieder reichlich Sauerstoff. In chemischer Hinsicht unterscheiden sich demnach Thier- und Pflanzenleben so, daß die einen nehmen, was die andern geben.

Die Thiere athmen Sauerstoff ein und Kohlensäure sammt Wasserdampf aus; die Pflanzen dagegen nehmen Kohlensäure sammt Wasserdampf auf und athmen Sauerstoff aus.

II. Die Schwerkraft.

A. Wirkungen der Schwerkraft auf alle Körper ohne Unterschied.

§. 71.

Die Schwerkraft als bewegende Anziehungskraft.

Außer den Erscheinungen chemischer Anziehung, bei denen die Naturkörper in neue umgebildet werden, giebt es zahlreiche Erscheinungen der Anziehung, bei welchen die Körper wesentlich unverändert bleiben. Mag Schnee oder Hagel fallen, mögen Lawinen von beschneiten Bergeshöhen hinabrollen, oder mag eine abgeschossene Kugel endlich wieder zur Erde niedersinken; es ist das Alles eine Wirkung der zwischen diesen Körpern und der Erde stattfindenden Anziehung, welche wir **Schwere** oder **Schwerkraft** nennen. Aber jene Körper haben nicht ihre Bestandtheile, sondern ihren Ort verändert; die chemische Anziehung bringt neue Körper, die Schwerkraft bringt **Bewegungen** hervor; die chemische Anziehungskraft ist eine umbildende, die Schwerkraft eine bewegende Kraft.

a. Der freie Fall.

§. 72.

Die Richtung des fallenden Körpers.

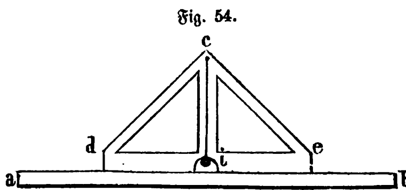
Eine Bleikugel, die an einem Faden hängt, heißt bei Maurern und Zimmerleuten **das Loth**; hält man das freie Ende des Fadens mit der einen Hand fest, hebt mit der andern die Kugel zuerst empor und läßt sie darauf wieder los, so fällt sie, soweit es der festgehaltene Faden gestattet, spannt denselben und giebt ihm dieselbe Richtung, in welcher sie zuvor gefallen ist. Die Richtung des Fadens an dem Loth wird die lothrechte oder senkrechte Richtung genannt. **Die Richtung, in der ein Körper zur Erde fällt, ist die lothrechte Richtung.** In lothrechter Richtung bewegt sich ein losgelassener Stein, ein emporgeworfener, zu uns zurückkehrender Ball, Regentropfen und Schneeflocken bei windstillem Wetter, der Rammklotz oder Bär an der Ramme, vom Baume losgerissene Früchte, übergegossene Wassermengen, Metallspäne, die von dem Feilkloben des Schlossers, und Eisenstücke, die von dem Amboß des Schmiedes hinabfallen. Das Gewicht an der Uhr spannt die Uhrkette; Rouleaux und Landkarten werden durch die unten in ihnen befindlichen Holzstäbe gespannt erhalten; das Senkblei der Schiffer spannt die nach Klaftern eingetheilte Schnur, um der Erde möglichst nahe zu kommen. Selbst in den tiefsten Bergwerken bewegen die fallenden Erze sich lothrecht abwärts, nach dem Mittelpunkt der Erde zu.

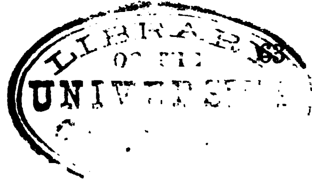
Gesetz der Schwere: Alle irdischen Körper haben das Bestreben, sich dem Mittelpunkt der Erde zu nähern, wohin sie die Schwerkraft zieht.

Alle Körper sind schwer, d. h. alle Körper werden von der Anziehungskraft der Erde, von der Schwerkraft, angezogen.

Da eine wagerechte Linie mit einer lothrechten rechte Winkel bildet, wird das Loth an der **Setzwage** benutzt, um die wagerechte Richtung zu finden. Die Setzwage ist ein dreieckiges Brett, dessen untere Kante mit einer von der gegenüberliegenden Spitze aus eingeschnittenen Rinne rechte Winkel bildet; der Faden des Lothes hängt vor der Rinne, und seine Kugel kann sich in einem halbkreisförmigen Ausschnitt über der untern Kante bewegen; wird die Setzwage mit der untern Kante auf einen Balken gestellt, und weicht dann die Rinne von der Richtung des Lothes ab, so weicht auch der Balken von der wagerechten Richtung ab.

Fig. 54.





§. 73.

Das Gewicht.

Häufig werden Gegenstände durch andere, auf denen sie liegen, verhindert, der Anziehungskraft der Erde zu folgen oder zu fallen. Dann offenbart sich die Schwerkraft durch eine andere Wirkung, durch den Druck, welchen der von der Erde angezogene Gegenstand auf die unter ihm liegenden ausübt. So drückt ein großer Stein sich in den lockeren Boden ein, schwere Walzen zerdrücken die Erdschollen, Lastwagen lassen Geleise zurück, und große Gebäude senken sich. Zerbrechliche Sachen werden leicht zerdrückt, Kissen und Ruhebetten eingedrückt. Mancher Handelsmann schätzt das Gewicht einer Waare nach dem Druck, den sie auf seine Hand ausübt. Der Druck, den ein Körper auf seine Unterlage ausübt, heißt sein **Gewicht**. Da alle Theile einer Masse in's Gewicht fallen, so muß das Gewicht mit der Masse zunehmen. Um das Gewicht eines Körpers genauer zu bestimmen, vergleichen wir mit Hülfe einer Wage seinen Druck mit dem eines Metallstückes von bekanntem Gewicht. Solche Metallstücke heißen Gewichte; bei Festsetzung derselben hat man sich nach dem Gewicht bestimmter Wassermengen gerichtet. Ein preußisches Pfund ist ungefähr der 62ste Theil des Gewichts von einem Kubikfuß Wasser.

§. 74.

Die Geschwindigkeit.

An einem ruhig hängenden Körper bewirkt die Schwerkraft, daß er den ihn haltenden Faden spannt; an einem auf einer Unterlage ruhenden Körper zeigt sich die Anziehungskraft der Erde dadurch, daß er einen Druck ausübt. In beiden Fällen wird der Körper gehindert, sich in lothrechter Richtung abwärts zu bewegen. Bei einer jeden Bewegung ist außer der Richtung des bewegten Körpers seine Geschwindigkeit von Bedeutung.

Die Geschwindigkeit bestimmen wir nach der Länge des in einer Secunde zurückgelegten Weges. Die Geschwindigkeit eines Fußgängers beträgt 5 Fuß, d. h., er legt in einer Secunde eine Strecke von 5 Fuß zurück. Die Geschwindigkeit der meisten Flüsse beträgt 4 Fuß, die des Windes 10, des Dampfwagens 40, des Schalles 1080 Fuß, die des Lichts 42000 Meilen und die der Elektricität 62000 Meilen.

Eine langsam, mit geringer Geschwindigkeit geschobene Kegelkugel vermag nur eine geringe Wirkung zu üben und wird kaum einen Kegel umwerfen. Eine Flintenkugel, die wir langsam mit der Hand werfen, dringt nicht in Holz ein; aus einem Gewehr abgeschossen, hat sie eine große Geschwindigkeit und eine große Wirkung. Derselbe Hammer, der bei langsamer Bewegung wenig ausrichtet, zerschlägt den Stein, wenn er schnell geschwungen wird. Während ein Pferd, das bei langsamem Schritt an ein Gebäude stößt, sich kaum verletzt, kann es bei schnellem Zusammenstoß sich die Glieder zerschmettern. **Ein sich bewegender Körper übt eine desto größere Wirkung aus, je größer seine Geschwindigkeit ist.**

§. 75.
Das Beharrungsgesetz.

In eine Röhre, die am linken Ende verschlossen ist und wagerecht auf der Tischplatte liegt, oder in ein Trinkglas werde eine Kugel gelegt und das Glas nach rechts gezogen; dadurch wird auch die Kugel bewegt. Hält man aber das Glas plötzlich an und beendigt dadurch seine Bewegung, so setzt die Kugel ihre Bewegung noch eine Strecke fort und beharrt dabei in unveränderter Richtung nach der rechten Seite. Schiebt man ein mit Wasser gefülltes Glas zuerst langsam, dann schneller, vorwärts und hält es dann mit einem Male an, so setzt das Wasser seine Bewegung in derselben Richtung fort und fließt über. Beim Schreiben wird mit der Feder die daran haftende Tinte bewegt und spritzt, ihre Bewegung fortsetzend, wann die Feder durch Unebenheiten des Papiers aufgehalten wird. An einer Peitsche oder Gerte, mit der man gegen einen Pfeiler schlägt, bewegt sich das freie Ende weiter und krümmt sich; von einer schnell gegen eine Tischkante bewegten thönernen Pfeifenröhre reißt sich das freie Ende sogar los, um seine Bewegung noch nicht zu beendigen. Wenn ein Eisenbahnzug noch ziemlich weit von dem Bahnhofe entfernt ist, unterbricht man die Wirkung der Maschine, der Zug aber beharrt noch eine Zeit lang in seiner Bewegung. Wenn der Stiel eines Hammers schnell abwärts gegen einen Stein gestoßen wird, setzt der Kopf des Hammers, wenn der Stiel schon zur Ruhe gekommen ist, seine Bewegung noch fort und wird dadurch fester auf den Stiel getrieben. Ein in einer Büchse oder Flasche eingeklemmter Gegenstand wird herausgebracht, wenn man den Behälter schnell gegen die Hand bewegt. Das reife Obst wird abgeschüttelt, indem man den Zweigen eine schnelle Bewegung ertheilt und das Obst, sich losreißend, dieselbe fortsetzt.

So wenig ein Körper, der willenlos ist, von selbst sich aus dem Zustande der Ruhe in Bewegung setzen kann, eben so wenig kann ein willenloser Körper sich entschließen, die ihm durch eine Kraft gegebene Bewegung abzuändern; er kann von selbst weder seine Geschwindigkeit verringern oder vergrößern, noch eine andere Richtung einschlagen wollen.

Beharrungsgesetz: Ein bewegter Körper beharrt mit unveränderter Richtung und Geschwindigkeit in seiner Bewegung so lange, bis er durch Einwirkung irgend einer Kraft daran verhindert wird;

ein ruhender Körper aber bleibt so lange in Ruhe, bis er durch irgend eine Kraft in Bewegung gesetzt wird.

Diesem Gesetz, welches von allen willenlosen Körpern gilt und ein Unvermögen oder eine fehlende Eigenschaft aussagt, sind auch lebende Wesen so lange unterthan, bis sie ihre Willenskraft gebrauchen und sich entschließen, ihre Bewegung zu ändern. Beim Wettrennen schießen die Pferde weit über das Ziel hinaus; schnell Laufende müssen vor einem zu breiten Graben und rasch dahin gleitende Schlittschuhläufer vor einer nicht mit Eis bedeckten Stelle ihre ganze Kraft aufbieten, um nicht Opfer

des Beharrungsgesetzes zu werden. Reiter stürzen über den Hals des Pferdes, falls dessen schneller Lauf unvermuthet gehemmt wird, und in einem Kahn oder Wagen, der plötzlich anhält, neigt sich der Oberkörper des Fahrenden vorwärts, indem er nach dem Beharrungsgesetze seine Bewegung fortsetzt.

§. 76.

Die Geschwindigkeit eines fallenden Körpers.

An einer Ramme wirkt der Rammklotz desto mehr, je höher der Punkt liegt, von dem er herabfällt, weil während des Falles seine Geschwindigkeit zunimmt. Hagelkörner und Regentropfen verdanken ihre den Kornfeldern verderbliche Gewalt nicht der Größe ihrer Masse, sie erlangen sie vorzugsweise durch die große Geschwindigkeit, mit der sie fallen; von einer bedeutenden Höhe hinabzuspringen, ist darum gefährlich, weil wir mit zunehmender Geschwindigkeit den Boden erreichen; einen hochgeworfenen Stein wagen wir nicht aufzufangen, weil er die Hand verletzen würde, eine Wirkung, zu der ihn die während des Falles erlangte Geschwindigkeit in den Stand setzt. So oft man von hohen Felsen oder Thürmen Metallkugeln herabfallen ließ, bewährte sich als

erstes Fallgesetz: daß die Geschwindigkeit eines fallenden Körpers fortwährend zunimmt.

Die Schwerkraft ertheilt ihm in dem ersten Augenblicke eine gewisse Geschwindigkeit, diese behält der Körper nach dem Beharrungsgesetz und bringt sie in den zweiten Augenblick mit; die Schwerkraft aber ist auch in dem zweiten Augenblick thätig und ertheilt in demselben dem fallenden Körper einen neuen Zuwachs an Geschwindigkeit; mit dieser gewachsenen Geschwindigkeit beginnt er seinen Fall im dritten Augenblick und empfängt wiederum einen neuen Zuwachs derselben. Genauer angestellte Versuche lehren, daß auf der Erde ein Körper in der ersten Secunde 15 Fuß fällt, in der zweiten Secunde 3 Mal 15, in der dritten 5 Mal 15 Fuß und so fort nach den ungeraden Zahlen.

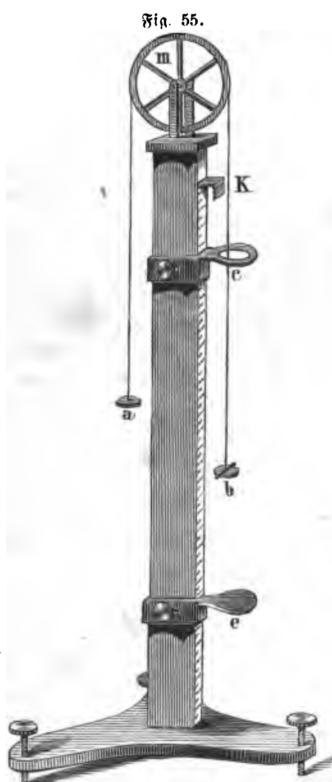
Zweites Fallgesetz: Die Fallräume der einzelnen Secunden wachsen, wie die ungeraden Zahlen.

In der ersten Secunde durchläuft der fallende Körper 1 Fallstrecke, in zwei Secunden $1 + 3 = 2 \times 2 = 4$, in drei Secunden $1 + 3 + 5 = 3 \times 3 = 9$ Fallstrecken von 15 Fuß, in 4 Secunden $1 + 3 + 5 + 7 = 4 \times 4 = 16$ Mal 15 Fuß. In fünf Secunden durchläuft der Körper das 25fache, in 6 Secunden das 36fache vom Fallraum der ersten Secunde. Da die Zahlen 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64, 81, 100 Quadratzahlen heißen, so ergiebt sich als

drittes Fallgesetz: Die Gesammtwege, von Anfang an gerechnet, wachsen wie die Quadratzahlen der Fallzeiten.

Die von Galiläi, Professor der Physik zu Pisa, um das Jahr 1600 entdeckten Fallgesetze bestätigt auch die **Atwood'sche Fallmaschine**; ein aufrecht stehender, etwa 7 Fuß hoher Maßstab trägt oben eine leicht bewegliche Rolle, über dieselbe läuft ein Faden, an dessen beiden Enden zwei gleiche, etwa 7 Loth schwere Gewichte hängen; legt man auf eins dieser Gewichte noch ein Gewicht von 1 Loth, so wird dies sowohl das eine größere Gewicht hinabziehen, als das andere hinaufbewegen; da also das 1 Loth noch 14 Loth zu bewegen hat, so vertheilt sich die Kraft des Uebergewichts auf eine 15 Mal so große Masse und ertheilt derselben eine 15 Mal kleinere Geschwindigkeit, ohne sonst das Gesetz des freien Falls zu ändern. Wie man mittels einer genauen Uhr beobachten kann, fällt das eine Gewicht in der ersten Secunde 1 Fuß, in der zweiten 3 Fuß.

Fig. 55.



§. 77.

Fallversuche im luftleeren Raume.

Legt man in ein mehrere Fuß hohes Glasgefäß neben einander eine Münze und eine leichte Feder und pumpt nun mittels einer Luftpumpe die Luft aus dem Gefäß, so werden, wenn man es schnell umkehrt, die Feder und die Münze zu gleicher Zeit auf den Boden des Gefäßes fallen. Man hat in England 15 Fuß hohe Gefäße luftleer gemacht und gefunden, daß

im luftleeren Raume alle Körper gleich schnell fallen.

Davon, daß manche Körper ziemlich langsam fallen, ist der Widerstand der Luft die Ursache.

---

b. Der Fall auf der schiefen Ebene.

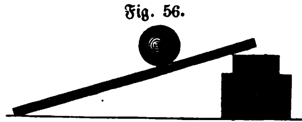
§. 78.

Die schiefe Ebene und ihre Anwendung.

1. Eine Kugel, die auf einer wagerechten Ebene, z. B. auf einer horizontalen Tischplatte, liegt, wird ganz von derselben getragen und übt mit ganzer Kraft einen Druck auf dieselbe aus. Neben einer lothrechten

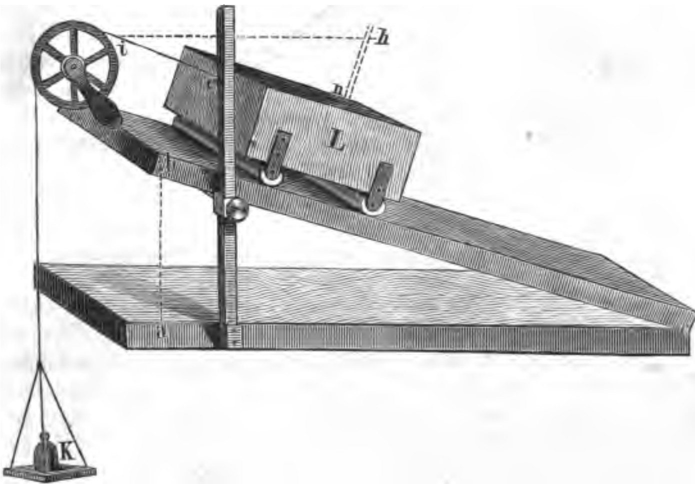
Ebene, etwa neben der Wand eines Zimmers, würde die Kugel mit ganzer Kraft fallen und gar keinen Druck ausüben können. Ein ebenes Brett, das mit seinem einen Ende auf dem Tisch ruht und dessen anderes Ende man emporhebt, ist **eine schiefe Ebene**, das heißt, eine Ebene, die mit der Horizontalebene einen spitzen Winkel bildet. Jede schiefe Ebene hat eine Mittelstellung zwischen der horizontalen und der lothrechten; ein auf sie gelegter Körper drückt nicht mit seinem ganzen Gewicht und fällt auch nicht mit ganzer Kraft, sondern er wird zum Theil von der schiefen Ebene getragen und fällt zugleich, doch mit geringerer Geschwindigkeit, als wenn er frei in der Luft fiele. Mittels eines Brettes, dem man nach und nach eine immer steilere Stellung giebt, und einer darauf gelegten Kugel ist leicht zu finden, daß, je steiler die schiefe Ebene ist, desto schneller ein Körper darauf abwärts rollt oder gleitet; desto mehr Kraft wird man daher anwenden müssen, um ihn daran zu hindern.

Fig. 56.



2. Ein 24 Zoll langes Brett ruht mit dem einen Ende auf dem Tische, während unter das andere Ende ein Holzstück von 2 Zoll Höhe geschoben ist. Das Brett stellt eine schiefe Ebene von 24 Zoll Länge und 2 Zoll Höhe dar. Auf ihr ruht ein 12 Loth schwerer Wagen. Um zu untersuchen, wie viel Kraft dazu gehört, um diese Last am Hinabrollen zu hindern oder ihr

Fig. 57.



das Gleichgewicht zu halten, wird oben an der höchsten Stelle der schiefen Ebene eine Rolle angebracht, und über diese von dem Wagen aus eine Schnur geleitet, die mit dem Brette gleichlaufend ist. Hängt man nun an das freie Ende der Schnur nach einander verschiedene Gewichte, so zeigt sich, daß 1 Loth den Wagen am Hinabrollen hindert. Die 12 Loth schwere Last richtet auf dieser schiefen Ebene nicht mehr aus, als die Kraft von 1 Loth; beide sind

im Gleichgewicht, wenn die Kraft den zwölften Theil der Last ausmacht. Achten wir auf die Höhe der schiefen Ebene (2 Zoll) im Vergleich zu deren Länge (24 Zoll), so macht auch die Höhe dieser schiefen Ebene den zwölften Theil ihrer Länge aus. — Schieben wir unter den höchsten Punkt der Ebene ein Holzstück von 4 Zoll Höhe, so kann das 1 Loth den Wagen nicht mehr am Hinabrollen hindern. Die Höhe der schiefen Ebene ist jetzt 6 Mal in ihrer Länge enthalten. An das freie Ende der Schnur werden wir 2 Loth hängen müssen, um das Gleichgewicht herzustellen. Die Kraft von 2 Loth ist dann ebenfalls 6 Mal in der 12 Loth schweren Last enthalten. — Vorausgesetzt, daß die Kraft gleichlaufend mit der schiefen Ebene wirkt, gilt das von Simon Stevin um 1600 entdeckte

Gesetz der schiefen Ebene: So oft die Höhe einer schiefen Ebene in ihrer Länge enthalten ist, eben so oft muß beim Gleichgewicht die Kraft in der Last enthalten sein.

3. **Anwendungen.** Weil man bei Anwendung einer schiefen Ebene nur eine Kraft aufzuwenden braucht, die kleiner ist, als das Gewicht der Last, bedient man sich zum Hinaufbringen von Fässern der Schrotleiter, zweier durch Querstäbe verbundenen hölzernen Stangen, die schräg gegen den Lastwagen gelegt werden. Bei Bauten legt man sogenannte Rampen an, um die Baumaterialien, vor Schneidemühlen schräge Holzbahnen, um die zu zersägenden Bäume, in Thongruben schräge Bretterbahnen, um die Erde hinaufzufördern. Jede Treppe und jede Leiter ist eine schiefe Ebene mit Stufen und desto bequemer, je sanfter sie aufsteigen. Bergstraßen setzt man aus mehreren im Zickzack hin und her führenden oder schraubenförmig sich um eine Anhöhe windenden schiefen Ebenen zusammen. Aufsteigende Landstraßen sucht man zu vermeiden, weil den Zugthieren das Fortschaffen des Wagens erschwert und ein Theil der Last aufgebürdet wird, welche auf wagerechter Straße ganz von dieser getragen wird.

§. 79.

Das Maß für eine mechanische Arbeit.

1. Der Arbeiter, der mit Hülfe einer Schrotleiter Lasten auf einen Wagen schafft, hat eine bestimmte Leistung oder mechanische Arbeit zu vollbringen; er muß eine gewisse Kraft anwenden, und zwar so lange, als die Last unterwegs ist. Der Buchbinder, der ein Stück Pappe durchzuschneiden hat, muß auf das Messer einen Druck ausüben, und zwar, so lang der von dem Messer zu durchlaufende Weg ist. Soll mit dem Pfluge eine Furche gezogen werden, so ist die Pflugschaar mit einer gewissen Kraft niederzudrücken, und die Arbeit ist desto größer, je größer die Arbeitsstrecke ist, das heißt, je länger die Furche werden soll. — Wenn ein Lastträger in derselben Zeit 3 Scheffel Getreide in einen Speicher hinaufträgt, während ein Kind ½ Scheffel hinaufbringt, so ist die Arbeit von jenem 6 Mal so groß, weil er einen sechsfachen Druck auszuhalten, die sechsfache Last zu heben oder die sechsfache Kraft anzuwenden hat. Eine Arbeit ist daher desto größer, je größer die angewandte Kraft ist. Um eine

mechanische Leistung oder Arbeit zu messen, muß man daher sowohl die Arbeitsstrecke, als auch die Größe der angewandten Kraft oder der gehobenen Last kennen. Die Arbeitsstrecke wird nach Fußen, die Kraft nach Pfunden gemessen.

2. Wie zum Maß einer Linie eine Linie, zum Maß einer Fläche eine Fläche dient, so kann eine mechanische Arbeit nur durch eine Arbeit von bestimmter Arbeitsstrecke und Kraft gemessen werden. Da es keine einfachere Arbeit giebt, als, eine Last lothrecht emporzuheben, so hat man die Arbeit, welche erfordert wird, um ein Pfund einen Fuß lothrecht emporzuheben, **ein Fußpfund** genannt und als Maß für mechanische Arbeiten angenommen. 50 Pfund 1 Fuß hoch zu schaffen, ist eine Leistung von 50 Fußpfund; dieselbe Last 10 Fuß emporzuheben, macht eine 10 Mal so große Arbeit, von 50 × 10 Fußpfund.

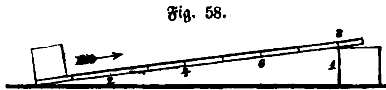
Um große Zahlen zu vermeiden, giebt man die Leistungen großer Maschinen nicht nach Fußpfunden, sondern nach **Pferdekräften** an. Als die Dampfmaschinen zuerst in Anwendung kamen, wurden sie zum Betrieb von Arbeiten gebraucht, zu denen man bis dahin Pferde benutzt hatte, und die Fabrikherren verlangten Maschinen, die dasselbe leisteten, was bisher eine Anzahl Pferde verrichtet hatte. Eine Pferdekraft ist eine Arbeit von 480 **Fußpfund** in jeder Secunde.

§. 80.

Die goldene Regel der Mechanik.

Gesetzt, man habe eine Last von 400 Pfund einen Fuß hoch zu schaffen und nehme, um sie ausführen zu können, eine schiefe Ebene zu Hülfe, die 8 Fuß lang ist und 1 Fuß steigt, so spart man offenbar an Kraft. Denn da die Höhe der schiefen Ebene nur dem 8. Theil ihrer Länge gleichkommt, braucht man nur eine Kraft aufzuwenden, die den 8. Theil von 400 Pfund ausmacht, also eine Kraft von 50 Pfund. Keineswegs hat man aber weniger Arbeit. Denn der Weg der Kraft oder die Arbeitsstrecke ist 8 Mal so lang geworden; 400 Pfund 1 Fuß hoch zu heben, ist eine Leistung von 400 Fußpfund, und auf einer Arbeitsstrecke von 8 Fuß eine Kraft von 50 Pfund auszuüben, ist auch eine Leistung von 8 × 50 = 400 Fußpfund. An Arbeit ist nichts gespart, wie denn durch keine Maschine an Arbeit gespart werden kann. Aber die Arbeit ist umgewandelt und verändert, so daß eine geringere Kraft, aber eine achtfache Arbeitszeit oder Arbeitsstrecke erfordert wird. Die Ersparniß an Kraft heißt der mechanische Vortheil, die dadurch herbeigeführte Vergrößerung der Arbeitsstrecke wird der mechanische Nachtheil genannt. Von allen Maschinen gilt

Fig. 58.



die goldene Regel der Mechanik: Der mechanische Nachtheil ist eben so groß, wie der mechanische Vortheil;

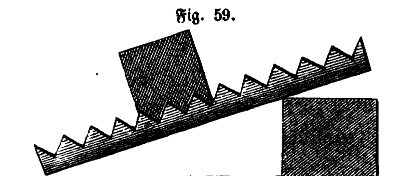
oder:

So viel durch eine Maschine an Kraft gewonnen wird, so viel verliert man am Wege.

§. 81.

Die Reibung.

1. Wird auf eine schiefe Ebene ein hölzerner Würfel gestellt, so gleitet er bei geringer Höhe derselben nicht hinab; es muß also ein Hinderniß der Bewegung vorhanden sein.


Fig. 59.

Jeder Körper hat an seiner Oberfläche Erhöhungen und Vertiefungen oder Reihen von kleinen schiefen Ebenen. Ein auf einem andern ruhender Körper sinkt mit seinen Hervorragungen in die Vertiefungen des andern. Soll ein Körper auf einer Bahn bewegt werden, so müssen die vorstehenden Theile umgebogen oder losgerissen, oder der bewegte Körper muß über sie hinweggeschoben werden. Der durch die in einander greifenden Unebenheiten sich berührender Körper hervorgebrachte Widerstand wird die **Reibung** genannt.

2. **Benutzung der Reibung.** Die Reibung ist für das Festhalten und Feststehen durchaus nothwendig. Die Unebenheiten der Hand drängen sich zwischen die der festgehaltenen Feder, die eines Bandes zwischen die des Packets, die eines eingeschobenen Deckels zwischen die des Tuschkastens. Wir vergrößern die Reibung, indem wir schräge Schreibpulte mit Tuch überziehen, indem wir auf das Glatteis Sand und Asche streuen, indem wir die Wagenräder durch Bremswerke aufhalten. Jedes Wagenrad wird durch die Reibung am Erdboden, jede Rolle durch die Reibung an der Schnur bewegt. Keile und Schrauben werden durch Reibung festgehalten.

3. **Die beiden Arten der Reibung.** Man unterscheidet die Reibung eines auf einer Bahn dahingleitenden Körpers, eines Schlittens oder einer Schleife, von der Reibung eines sich wälzenden oder rollenden Körpers, die **gleitende** und die **wälzende** Reibung. Die wälzende Reibung ist weit geringer, als die gleitende, weil die Unebenheiten eines rollenden Körpers sich über die der Bahn hinwegheben. Daher die Anwendung von Rädern an Fuhrwerken und von Rollen unter den Möbeln.

4. **Größe der Reibung.** Die Reibung nimmt mit der Größe der Last oder dem Drucke zwischen den sich reibenden Körpern zu. Sie wird durch die Rauhheit der sich berührenden Körper vergrößert; für verschiedene Körper ist sie verschieden; durch passende Schmiermittel, welche die Unebenheiten ausfüllen, wird sie verringert.

Für den Transport auf wagerechten Straßen und Eisenbahnen besteht, da sie die ganze Last tragen, die ganze Arbeit in Ueberwindung der Reibung. Bei einer Schleife auf gutem Pflaster und einem Wagen auf sandigem Landwege beträgt die Reibung die Hälfte der Last; auf einer Chaussee beträgt die Reibung für einen Wagen $^1/_{20}$, auf einer Eisenbahn $^1/_{200}$ von der Last, auf einer glatten Schneebahn für einen Schlitten $^1/_{25}$. 2000 Pfund erfordern daher auf einem Sandwege eine Zug-

kraft von 1000, auf einer wagerechten Chaussee von 100, auf einer Eisenbahn von 10 Pfund.

§. 82.

Der Keil und seine Anwendung.

Die schiefe Ebene denken wir uns als festliegend und unbeweglich, und die Kraft bewegt die Last auf derselben empor. Allein oft ist die schiefe Ebene beweglich und wird durch die Kraft unter die Last oder in die Widerstand leistenden Körper hineingetrieben. Eine bewegliche schiefe Ebene heißt ein Keil. Ist die der Schneide des Keils gegenüber liegende Fläche, der Rücken des Keils, schmal, so gleicht der Keil einer schiefen Ebene, die sanft emporsteigt und wenig Kraft nothwendig macht. **Je spitzer** daher **ein Keil, oder je schmaler sein Rücken ist, desto geringere Kraft erfordert er.** Dafür muß man aber auch nach der goldenen Regel desto länger arbeiten, um mit einem schmalen Keile die Last hoch genug zu heben oder die Theile des Holzes weit genug zu trennen. Zudem stellen sich dem Keil zwei bedeutende Reibungen entgegen, die den größten Theil der auf die Bewegung des Keils verwandten Arbeit verzehren.

Anwendungen. Der Keil dient zum Heben schwerer Lasten, als Trennungsmittel und als Befestigungsmittel. 1) Zum Heben von Lasten verwendet man Keile auf den Werften, wo man sie unter die Schiffe treibt, um sie emporzuheben. Um den festgenagelten Deckel einer Kiste emporzuheben, treibt man unter denselben einen eisernen Keil, den Meißel, und um einen Nagel auszuziehen, schiebt man unter seinen Kopf die beiden Keile, aus denen der Kopf der Nagelzange besteht. 2) Als Trennungsmittel dienen die schneidenden und stechenden Werkzeuge, die nichts Anderes sind, als Keile. Der Landmann zertheilt seinen Acker mit den metallenen Keilen der Pflugschaar, des Spatens und der Egge; der Schneider arbeitet mit einem abgerundeten Keil, der dem Faden eine Oeffnung bereitet, der Nähnadel, und den keilförmig zugeschärften, schneidenden Armen der Scheere; der Meißel und die Axt sind die Keile des Zimmermanns, seine Messer, das Eisen des Hobels und die Zähne der Säge die des Tischlers. Auch viele Waffen, wie Säbel und Bajonnete, und die Sporen sind Keile. Sogar die Borsten einer Bürste und die Fasern eines Tuches, das zum Abwischen des Staubes dient, sind als Keile anzusehen. 3) Während bei den übrigen Anwendungen des Keils die Reibung hindernd wirkt, beruht gerade auf der Reibung das Festsitzen der Keile. Als Befestigungsmittel dienen Nägel, deren Unebenheiten von den Unebenheiten des Holzes oder durch Reibung festgehalten werden. Tuchnadeln sind Keile, die wegen der Reibung im Zeug festsitzen; die Wirbel der Saiteninstrumente erhalten ihre feste Stellung gleichfalls durch die Reibung; der Tischler schiebt neben sein Hobeleisen und der Matrose rings um den Mastbaum seines Schiffes durch Reibung festsitzende Keile.

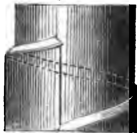
§. 83.

Die Schraube.

Wenn man ein dreieckiges Stück Papier, dessen schräg aufsteigende Seite eine schiefe Ebene darstellt, um einen Cylinder windet, so gestaltet sich die

schiefe Ebene zu einer Schraubenlinie. Eine Schraube oder Schraubenspindel ist eine um einen Cylinder gewundene schiefe Ebene. Jede vollständige Windung derselben um ihren Cylinder heißt ein Schraubengang. Der Abstand zweier Schraubengänge oder die Höhe der schiefen Ebene, die jeder einzelne Schraubengang bildet, heißt die Höhe eines Schraubengangs. Die Schraubenspindel greift in die Schraubenmutter, einen kurzen hohlen Cylinder, innerhalb dessen sich eine schiefe Ebene hinaufwindet. Weil die Schraube eine schiefe Ebene ist, so macht sie desto weniger Kraft nöthig, je sanfter die Schraubengänge aufsteigen. **Eine Schraube erfordert desto weniger Kraft, je niedriger im Vergleich zu ihrem Umfange die Schraubengänge sind.** Wie beim Keil, so geht auch bei der Schraube ein sehr großer Theil der auf ihre Bewegung verwandten Arbeit durch die bedeutende Reibung verloren.

Fig. 60.



Anwendung findet die Schraube zum Heben von Lasten, zur Ausübung eines beträchtlichen Drucks und als Befestigungsmittel. 1) Die Hebeschraube dient den Zimmerleuten, um, wenn sie das Erdgeschoß ausbessern, die Balken des oberen Stockwerks etwas höher zu schrauben. 2) Die Schraubenpressen haben entweder eine bewegliche Spindel, wie die Buchdrucker-, die Papiermacher-, Oliven- und Weinpressen, oder bewegliche Schraubenmütter, wie die Buchbinder- und Pflanzenpressen. 3) Als Befestigungsschrauben wirken die gewöhnlichen Holzschrauben, die sich selbst im Holze eine passende Mutter bohren, die Metallschrauben an den Uhren und Flinten, die Schrauben an den Wagenaxen, Schiebelampen, Hobelbänken und Bremswerken.

---

c. Der Fall geworfener Körper.

§. 84.

Bewegung senkrecht emporgeworfener Körper.

Ein Pfeil werde senkrecht in die Höhe geschossen mit einer Kraft, die ihn in jeder Secunde durch 6 × 15 Fuß treibt; die seiner Richtung entgegenwirkende Schwerkraft wird ihn in der ersten Secunde um 15 Fuß zurückhalten, so daß er nur 5 × 15 Fuß durchfliegt; in der zweiten Secunde erleidet der Pfeil durch die Schwerkraft einen Bewegungsverlust von 3 × 15 Fuß und bewegt sich nur durch 3 × 15 Fuß; in der dritten Secunde hält die Schwerkraft ihn um 5 × 15 Fuß zurück, er steigt somit nur noch 15 Fuß. Schon in der vierten Secunde fällt der Pfeil, da die Schwere mit einer Kraft von 7 × 15 Fuß seine aufsteigende Kraft von 6 × 15 Fuß überwindet, 15 Fuß; in der fünften fällt er 3 × 15, in der sechsten Secunde 5 × 15 Fuß und gelangt wieder zur Erde. Der Pfeil hat 3 Secunden zum Steigen und gleichfalls 3 Secunden zum Fallen gebraucht; die Schwerkraft hat ihn in jeder Secunde um den Fallraum derselben zu-

rückgehalten und seine Bewegung gleichmäßig verzögert. Ein senkrecht in die Höhe geworfener Körper steigt demnach eben so lange, als er fällt; die Höhe, die er erreicht hat, ist so groß, wie sein Fallraum während der halben Zeit seiner Bewegung.

§. 85.

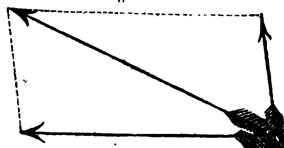
Zusammensetzung der Kräfte.

1. Die Diagonalmaschine. An der einen Ecke eines Brettes, dessen vier Seiten gleich lang sind, sind zwei Hämmer so befestigt, daß man beide zugleich gegen eine auf dem Brette vor ihnen liegende Kugel schlagen lassen kann. Legt man die Kugel vor die Hämmer und läßt zuerst den einen Hammer gegen sie schlagen, so bewegt sie sich in der Richtung, die ihr der Hammer giebt, längs der einen Seite des Brettes; läßt man den zweiten Hammer allein gegen die Kugel schlagen, so läuft sie längs der andern Seite des Brettes; läßt man dagegen beide Hämmer zugleich gleich stark gegen die Kugel schlagen, so bewegt sie sich in einer Richtung, die zwischen ihren beiden früheren Richtungen in der Mitte liegt, nach der gegenüberliegenden Ecke des Vierecks. Sie durchläuft die **Diagonale** des Vierecks, die von seiner einen Ecke zur gegenüberliegenden gezogene gerade Linie.

2. Es werde ein Schiff von der Strömung des Wassers in einer Secunde fünf Fuß nordwärts, zugleich aber vom Winde eben so weit ostwärts getrieben; durch das Zusammenwirken beider Kräfte wird es nach Nordosten gelangen. Bei starkem Winde schlagen die Regentropfen eine mittlere Richtung zwischen der lothrechten und der wagerechten des Windes ein; ein aus dem Mastkorbe eines fahrenden Schiffes herabfallender Gegenstand hat einmal die fortschreitende Bewegung des Schiffes und zweitens die ihm durch die Schwerkraft ertheilte; ein von einem Reiter senkrecht emporgeworfener Ball durchläuft eine schräg emporsteigende Mittelrichtung zwischen der wagerecht fortschreitenden des Pferdes und der senkrechten.

3. Wirken auf einen Körper zwei Kräfte in verschiedenen Richtungen, so kann man die Richtung, in welcher jede einzelne Kraft den Körper bewegen würde, durch zwei Linien darstellen, die von dem Punkte ausgehen, wo der Körper sich ursprünglich befindet; jede der beiden Linien macht man so lang, als der Weg ist, durch welchen jede einzelne Kraft den Körper in einer Secunde treiben würde. Zieht man nun von den Endpunkten dieser Linien noch zwei mit ihnen parallele Linien, so werden die vier Linien ein Viereck mit parallelen Seiten, ein Parallelogramm, umschließen, und der Körper wird sich in der Diagonale desselben bewegen, welche sowohl die Richtung seiner Bewegung, als auch die Größe des von ihm durchlaufenen Weges angiebt. Dies ist der Sinn des unter dem Namen des **Parallelogramms der Kräfte** bekannten Gesetzes:

Fig. 61.



Wirken auf einen Körper zwei Kräfte in verschiedenen Richtungen, so bewegt sich derselbe in der Diagonale des durch die Richtung und Größe beider Kräfte bestimmten Parallelogramms.

Zeichnet man das Parallelogramm für zwei Seitenkräfte, die mit einander einen sehr kleinen Winkel machen, so wird die Diagonale sehr groß, und auf den bewegten Körper wird eine große Wirkung ausgeübt. Wenn daher an einem Hauptseil mehrere von Menschen gezogene Nebenseile angebracht werden, wie beim Rammen und Ziehen der Schiffe, so müssen die Arbeiter möglichst dicht bei einander stehen.

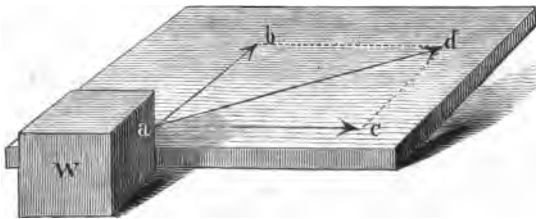
4. Das Flugwerk im Theater wird gebraucht, um Gegenstände in der Luft schräg hinabschweben zu lassen. Der Gegenstand hängt an einem über eine Rolle laufenden Seile; ist das andere Ende des Seils oben an der rechten Seite befestigt, und wird die Rolle nach derselben Seite hingeschoben, so wirken auf den Gegenstand zwei Kräfte, die Zugkraft der Maschinerie, die ihn sammt der Rolle nach rechts fortbewegt, und die Schwerkraft, die ihn senkrecht hinabzieht; der Gegenstand wird sich also in einer Mittelrichtung zwischen der wagerechten und senkrechten bewegen und in schräger Richtung nach der rechten Seite zu hinabsteigen.

§. 86.

Zerlegung der Kräfte.

1. Wie nach dem Parallelogramm der Kräfte zwei Seitenkräfte sich so zusammensetzen, daß sie eine einzige gemeinsame Wirkung hervorbringen, so kann umgekehrt eine einzige Kraft sich so zerlegen, daß sie zwei Wirkungen auf ein Mal hervorbringt, als wäre sie aus zwei Seitenkräften zusammengesetzt. An einen vor der Kante eines unbeweglichen Brettes aufgestellten Würfel greift mit Hülfe eines Fadens eine Kraft so schräg an, daß sie ihn von dem Punkte a nach d bewegt haben würde, wenn dies Brett nicht da wäre. In der schräg nach rechts von dem Beobachter hinwegtreibenden Kraft liegt das doppelte Bestreben, den Würfel nach rechts, nach c und von dem Beobachter hinweg nach b zu bewegen. An der zweiten Bewegung durch das Brett gehindert, nimmt der Körper einen Weg ac gleichlaufend mit der Kante des Brettes und übt zugleich unter rechten Winkeln gegen das Brett einen Druck aus, dessen Größe ab wir finden, wenn wir c mit d verbinden, wobei cd mit der vorderen Kante rechte Winkel bilden wird, und zur Zeichnung des Kräfteparallelogramms ab mit cd, db mit ac parallel ziehen. Da die in der Richtung ad wirkende Kraft den Würfel von a nach c bewegt, so ergiebt sich, 1) daß eine schief

Fig. 62.



angreifende Kraft einen Körper in einer ganz andern Richtung bewegt, als in welcher sie angreift. 2) Beabsichtigte man nur, jenen Würfel parallel mit dem Brette zu bewegen, und hätte man die Kraft an die rechte Fläche des Würfels rechtwinklig, parallel mit ac, angreifen lassen, so würde sie ihn in gleicher Zeit weiter bewegt haben, um so viel, als ad länger ist, als ac. Durch das schiefe Angreifen der Kraft ist ein Theil ihrer Wirkung verloren gegangen. Sollte die Kraft bloß den Würfel gegen das Brett drücken, so mußte sie rechtwinklig an die von dem Beobachter abgewandte Seite angreifen; dann wäre der Druck größer ausgefallen, weil ad länger ist, als ab. Eine Kraft übt nur dann ihre ganze Wirkung gegen eine Fläche, wenn sie rechtwinklig angreift. Von der Leistung einer schief angreifenden Kraft geht ein Theil verloren, weil von den beiden Wirkungen, die sie hervorbringt, gewöhnlich nur eine beabsichtigt wird. Man wird daher eine Kraft nur dann schräg an eine Fläche angreifen lassen, wenn man weder die Richtung dieser, noch die der Kraft ändern kann. 3) Meistens will man durch einen bewegten Körper einen andern in Bewegung setzen, wie wenn in unserem Versuch durch den Würfel das Brett bewegt werden sollte. Dabei zerlegt sich die schräg angreifende Kraft ad in eine rechtwinklig gegen die Fläche gerichtete Arbeit ab und in den Arbeitsverlust oder die mit der Fläche parallele Bewegung ac des ursprünglich bewegten Körpers, die für die Bewegung der Fläche nutzlos ist.

2. Durch die wagerechte Bewegung des Windes wird das Emporsteigen des **Papierdrachen** hervorgebracht. Die Linie ab stelle die Richtung des Windes dar; seine Kraft sei so groß, daß er bei lothrechter Stellung des Drachen den Punkt a in einer Secunde nach c bewegt haben würde. Soll der Drache steigen, so muß er schräg hängen, weshalb der obere Theil desselben durch die Hand mittels der Laufschnur und der untere durch den Schweif hinabgezogen wird. Die auf die Fläche des Drachen schräg treffende Luftmenge zerlegt sich dergestalt in zwei Wirkungen, daß ein Theil ae wirkungslos längs der Fläche abwärts gleitet, die wirksame Arbeit ad aber rechtwinklig gegen den Drachen gerichtet ist und ihn zu steigen nöthigt. Die Kraft ac hat dieselbe Wirkung, wie zwei Seitenkräfte ae und ad, von denen die erste Nichts zum Erfolge beiträgt.

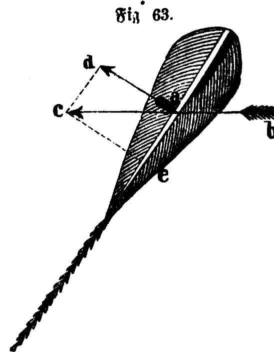
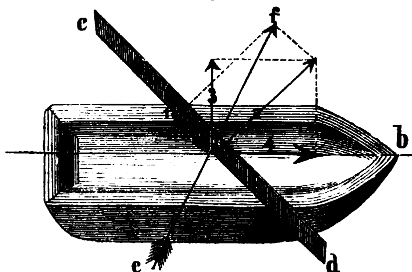


Fig. 63.

3. **Das Segel eines Schiffes** wird schief gegen die Richtung des von der Seite her wehenden Windes gestellt, damit das Fahrzeug vorwärts komme. ab sei die Richtung, welche der Kiel des Schiffes hat und welche es einschlagen soll; ef die Richtung des Windes; cd die Stellung des Segels. Die Kraft des Windes ea = af zerlegt sich, da sie das Segel schiefwinklig trifft, in zwei Leistungen; gleichlaufend mit der Fläche des Segels wird eine Luftmasse Nr. 1 erfolglos dahinbewegt, wogegen die wirksame Arbeit Nr. 2 rechtwinklig gegen das Segel gerichtet ist. In dieser Richtung kann sie aber das Schiff nicht bewegen, weil sie den Kiel seitwärts zu bewegen

trachtet, das Fahrzeug aber so gebaut ist, daß das Wasser der Bewegung nach der Seite einen großen Widerstand leistet. Der wirksame Rest der ursprünglichen Kraft, der in der Richtung Nr. 2 schräg an den Kiel a b angreift, zerlegt sich deshalb in eine sich rechtwinklig gegen den Kiel wendende Arbeit Nr. 3, welcher das Wasser Widerstand leistet, und eine mit dem Kiel gleichlaufende Wirkung Nr. 4, die vollständig zur Thätigkeit gelangt und das Schiff vorwärts schafft.

Fig 64.



4. Die **Windmühlenflügel** haben gegen den mit ihrer Axe parallel wehenden Wind eine schräge Stellung. Die Kraft des Windes zerlegt sich in eine erfolglose, den Flügeln gleichlaufende und in eine zur Fläche derselben rechtwinklige Wirkung. Dieser zur Thätigkeit gelangende Theil von der Kraft des Windes wirkt schief gegen die Axe und zertheilt sich darum in eine erfolglose, mit der Axe parallele und eine lothrechte, zur Axe rechtwinklige Arbeit, welche die Umdrehung der Flügel ins Werk setzt.

§. 87.

Der Fall wagerecht oder schräg geworfener Körper.

Das Parallelogramm der Kräfte findet seine Anwendung auf jeden wagerecht oder schräg geworfenen Körper; denn es wirken auf ihn zwei Kräfte in verschiedenen Richtungen, die Wurfkraft und die Schwerkraft, deren Wirkung mit jeder Secunde zunimmt und ihn immer mehr abwärts zieht. So viel der Fallraum jeder Secunde beträgt, um so viel wird ein wagerecht oder schräg geworfener Körper in derselben von seiner Bahn abgelenkt und zur Erde gezogen. Sein Weg ist eine krumme Linie, welche Parabel genannt wird. Darum zielt der Schütze stets nach einem Punkte, der höher liegt, als sein Ziel.

---

d. Die der Schwerkraft entgegenwirkende Centrifugalkraft.

§. 88.

Erscheinungen der Centralkräfte.

1. Einer Kugel, die an einem kurzen Faden hängt, werde von der einen Seite in horizontaler Richtung ein hinlänglich starker Stoß ertheilt; die Kugel bewegt sich einen Augenblick in der ihr durch den Stoß gegebenen Richtung; aber der Faden, der sie zurückhält, zwingt sie, dieselbe fortwährend zu ändern, und sie beschreibt einen Kreis um ihren Aufhängungspunkt.

Auf die Kugel wirken zwei Kräfte, die von der Seite her bewegende Kraft, welche die **Tangentialkraft** heißt, und eine vom Mittelpunkt ihrer Bahn aus wirkende Anziehungskraft, der Faden, der ihre Entfernung vom Centrum des Kreises hindert. Das Zusammenwirken zwei solcher Kräfte, der Centralkräfte, ertheilt einem Körper eine kreisförmige Bewegung.

2. Es hafte Sand an einem Wagenrade; dann wirkt auf ihn die fortschreitende Bewegung des ganzen Wagens und die Kraft, mit der er am Rade festsitzt; ist aber die Geschwindigkeit des Wagens groß, so hört die Kraft, mit der er haftet, auf zu wirken, und der Sand wird seitwärts fortgeschleudert. Ihn treibt, nach dem Aufhören der Anziehungskraft, die andere, jetzt allein wirkende, der Centralkräfte, die Tangentialkraft, vom Mittelpunkt der Bewegung seitwärts hinweg. Dasselbe geschieht mit dem an einem Schleifsteine haftenden Wasser, wenn er schnell gedreht wird, mit dem Steine in einer Schleuder, sobald während des Herumschwenkens das eine Ende des ledernen Riemens losgelassen, und so die vom Mittelpunkt der Kreisbewegung aus wirkende Anziehungskraft ferner zu wirken gehindert wird.

3. An einer im Kreise geschwungenen Kugel, die man an einem Faden hält, offenbart sich die Tangentialkraft vollständig, wenn man den Faden losläßt, und entfernt die Kugel seitwärts vom Mittelpunkt der Bewegung hinweg. In der Tangentialkraft liegt also das Bestreben, den von ihr bewegten Körper von dem Mittelpunkt der Kreisbahn zu entfernen. Sie spannt daher den Faden einer umgeschwungenen Kugel trotz der herabziehenden Schwerkraft auch in dem oberen Theile ihrer Bahn. Dieser Wirkungsweise der Tangentialkraft hat man unnöthigerweise einen besonderen Namen, **Centrifugalkraft** oder Fliehkraft, gegeben, die man sich durchaus nicht als eine selbstständige Kraft, nicht etwa als eine dritte Centralkraft vorstellen darf. Daher kann man einen gefüllten Korb oder ein zwischen vier Schnüre befestigtes Glas mit Wasser herumschwenken, ohne daß Etwas verschüttet wird; daher durchläuft auch in den Centrifugalrutschbahnen der von einer hinlänglich großen Höhe hinabrollende Wagen den innern Umkreis eines aufrecht stehenden Kreises, ohne daß die Schwerkraft der nach oben wirkenden Centrifugalkraft den Sieg abgewinnen könnte.

B. Wirkungen der Schwerkraft auf feste Körper.

§. 89.

Die starke Cohäsion der festen Körper.

Die Schwerkraft äußert ihre Wirkungen auf feste, tropfbarflüssige und luftförmige Körper; sie alle stehen in gleicher Weise unter den Gesetzen des freien Falls, des Falls auf der schiefen Ebene, der Wurf- und Kreisbewegung. Allein es giebt Erscheinungen, welche die Schwerkraft nur

an festen oder nur an flüssigen oder luftförmigen Körpern hervorbringt, weil gerade nur die Eigenthümlichkeiten dieser Körper sie zulassen.

Feste Körper sind solche, deren Theile mit merklicher Kraft zusammenhängen, wie denn Kraftaufwand nöthig ist, um die Theile des Holzes oder Eisens von einander zu trennen, und häufig Werkzeuge zu Hülfe genommen werden, um diese Arbeit zu erleichtern. Die Anziehungskraft, womit die Theile eines Körpers an einander festhalten, heißt **die Kraft des Zusammenhanges oder die Cohäsion.** Von der Stärke der Cohäsion hängt es ab, ob ein Körper sich in festem, tropfbarflüssigem oder luftförmigem Zustande befindet. Diese drei Zustände, in denen ein Körper, z. B. das Wasser als Eis, als tropfbarflüssiges Wasser und als luftförmiger Wasserdampf, vorkommen kann, heißen die drei Cohäsionszustände der Körper. Den festen Zustand bewirkt eine merklich starke, den flüssigen eine geringe Cohäsion, die Theile eines luftförmigen Körpers haben unter einander gar keine Cohäsion.

Die an festen Körpern durch die Schwerkraft hervorgebrachten Wirkungen unterscheiden sich dadurch, daß sie wegen des festen und innigen Zusammenhangs ihrer Theile **nur in einzelnen Punkten unterstützt oder getragen zu werden brauchen,** was bei flüssigen und luftförmigen Körpern nicht geschehen kann. Darauf beruhen die Erscheinungen des Hebels, des Schwerpunktes und des Pendels.

---

a. Der Hebel.

§. 90.

Der Hebel mit zwei gleichen Armen.

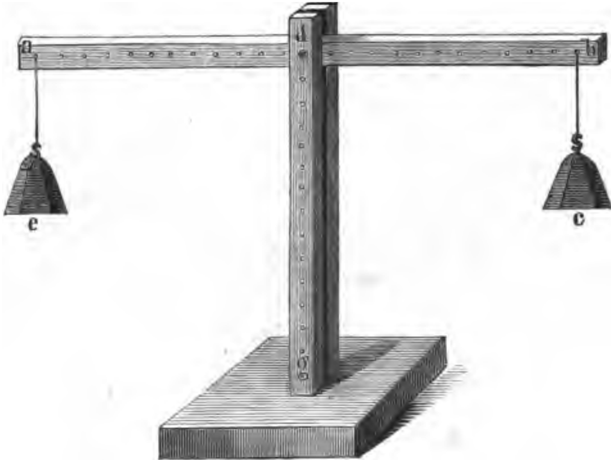
1. Eine überall gleich starke, einige Fuß lange Holzstange werde genau in der Mitte ihrer Länge, der Breite nach etwas nach der obern Seite zu, durchbohrt und auf einen horizontalen Stift geschoben, der an aufrecht stehende Säulen befestigt ist (Fig. 65). Die Stange ist auf diese Weise in einem einzigen Punkte, dem Unterstützungs- oder Drehungspunkte, unterstützt und muß sich um denselben mit möglichst geringer Reibung aufwärts und abwärts bewegen können. Da beide Enden der Stange gleich schwer sind, so wird die Schwerkraft das eine nicht mehr abwärts ziehen, als das andere; beide werden sich das Gleichgewicht halten und der Stange eine wagerechte Lage geben.

2. Hängt man nun an das eine Ende der Stange eine Last von 1 Pfund, so wird diese die Stange drehen und das andere Ende mit einer Kraft von 1 Pfund aufwärts bewegen. Um das Gleichgewicht wieder herzustellen, muß man an diesem Ende offenbar eine hinabziehnde Kraft von einem Pfunde anbringen. Um aber die Last emporzuheben, wird eine Kraft erfordert, die etwas größer ist.

3. Eine unbiegsame Stange, die in einem Punkte unterstützt ist und sich um denselben drehen kann, heißt ein **Hebel.**

Zwei an dem Hebel wirkende Kräfte, von denen die eine als eine emporzuhebende Last angesehen wird, suchen ihn nach entgegengesetzten Richtungen zu bewegen. Der Theil eines Hebels zwischen seinem Unterstützungspunkte und dem Angriffspunkte einer Kraft heißt ein Arm des Hebels. Die vorher als Hebel dienende Stange war ein gleicharmiger Hebel; denn die

Fig. 65.



Angriffspunkte der Kräfte lagen gleich weit vom Unterstützungspunkte, und zugleich ein zweiarmiger Hebel, denn die Kräfte wirkten auf beiden Seiten des Unterstützungspunktes.

4. Befestigt man die Kraft und die Last an andere Punkte des Hebels, jede etwa 12 oder 8 oder 6 Zoll vom Unterstützungspunkte, so erhält man andere gleicharmige Hebel, für welche sich ebenfalls das Gesetz bestätigt:

Der gleicharmige Hebel ist im Gleichgewicht, wenn Kraft und Last einander gleich sind.

§. 91.

Die gleicharmige Wage.

Die Hauptanwendung des Hebels mit zwei gleichen Armen ist die gewöhnliche Wage; der Hebel an derselben ist der Wagebalken, dessen Axe, um die Reibung zu verringern, nach unten zu geschärft ist und von der Scheere getragen wird. Die oben an den Wagebalken in der Mitte seiner Länge befestigte Zunge hat eine lothrechte Stellung, wenn der Wagebalken sich im Gleichgewicht befindet und wagerechte Stellung annimmt. Die an einem Ringe hängende Scheere hat die Bestimmung, die lothrechte Richtung anzugeben. Schwebt die Zunge genau in der Mitte der Scheere, so hat sie lothrechte Stellung, und der Wagebalken ist im Gleichgewicht. Legt man in die beiden Wageschalen verschiedene Gewichte, so sinkt die schwerere Schale, der Wagebalken dreht sich, und der

untere Theil in der Mitte desselben tritt auf die andere Seite; er stellt sich so schräg, daß die größere Last zur Linken mit dem linken Arm des Wagebalkens eben so viel wiegt, wie die Last in der rechten Schale sammt dem größeren Theile des Wagebalkens, der sich rechts von dem durch die Axe gehenden Loth befindet.

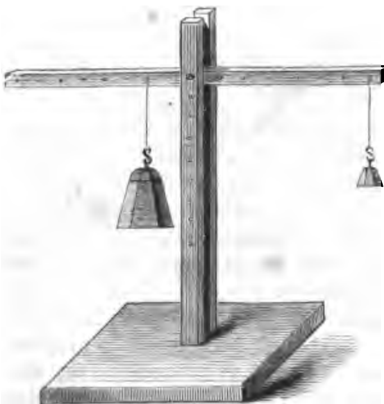
Bei Prüfung einer gewöhnlichen Wage muß man auf folgende Punkte achten: 1) Der Wagebalken muß stark genug sein; denn, biegt er sich, so wird der eine Arm kürzer, als der andere. 2) Wenn man beide Wageschalen abnimmt, so muß der Wagebalken sich horizontal stellen. 3) Man legt in beide Schalen fast so viel gleich große Gewichte, als die Wage aushält, so daß der Wagebalken horizontale Stellung hat; vertauscht man nun beide Schalen und hängt sie sammt ihren Gewichten an die anderen Enden des Wagebalkens, so muß die Wage sich wieder im Gleichgewicht befinden; erhielte die eine Seite den Ausschlag, während die Wage ohne Last in der Gleichgewichtslage war, so hätte sie zwei Fehler; die hinabsinkende Seite des Wagebalkens wäre zu lang, und die daran hängende Schale schwerer, als die andere. 4) Die Wage muß für ihren Zweck empfindlich genug sein und selbst bei kleineren Gewichten einen Ausschlag geben. Die Empfindlichkeit einer Wage ist desto größer, je länger und leichter die Arme sind, weil sie dann durch ein kleines Gewicht leichter bewegt werden, und je länger die Schwingungen dauern, wenn sie unbelastet aus der Gleichgewichtslage gebracht ist, als Zeichen, daß eine kleine Kraft sie anhaltend bewegt.

§. 92.

Der Hebel mit zwei ungleichen Armen.

1. Befestigt man an beide Arme der Hebelvorrichtung §. 90 zwei gleiche Gewichte, aber in ungleichen Entfernungen vom Unterstützungspunkte, so hat man einen ungleicharmigen Hebel. Wirkt das eine Gewicht an einem 1 Fuß, das andere an einem 2 Fuß langen Arme, so werden die gleichen Gewichte kein Gleichgewicht hervorbringen, sondern das Gewicht an dem längeren Arme wird sich hinabbewegen und das andere emporheben. Der Grund davon liegt darin, daß hier die Leistung der bewegenden Kräfte ungleich ist; die sich bewegenden Massen sind gleich, aber das Gewicht an dem längeren Hebelarm durchläuft einen doppelt so großen Weg, als das andere, oder es hat die doppelte Geschwindigkeit.

Fig. 66.



2. Hängt man, um diesen Unterschied nach §. 80 auszugleichen, an den kürzeren Arm die doppelte Masse (2 Pfund), so ist sofort das Gleichgewicht hergestellt. Eine Kraft an

einem 3 Mal so langen Hebelarm wird eine dreifache Last, an einem 4 Mal so langen Arm eine vierfache Last im Gleichgewicht halten. An einem 8 Zoll langen Arm leistet ein Viertel-Pfund 8 Mal so viel, als an einem 1 Zoll langen Arm, so viel, wie $8 \times 1/4 = 2$ Pfund an einem zolllangen Arm. Wo muß die Last von 1 Pfund angebracht werden, wenn jene Kraft von $1/4$ Pfund ihr das Gleichgewicht halten soll? Damit 1 Pfund so viel leiste, wie 2 Pfund an einem zolllangen Arm, muß es offenbar an einem 2 Zoll langen Arm angreifen; dann ist seine Leistung doppelt so groß, als die eines Pfundes an einem zolllangen Arm.

3. Um die Wirkung einer Kraft oder Last am Hebel zu beurtheilen, muß man zusehen, einem wie großen an einem Hebelarm von einem Zoll hängenden Gewicht jede von beiden das Gleichgewicht halten würde. Sind diese Gewichte für beide gleich, so halten sie sich das Gleichgewicht. Die Größe jener Gewichte, $8 \times 1/4$ und 1×2 Pfund, wird aber leichter erhalten, wenn man die Kraft mit der Zahl, welche die Länge ihres Hebelarms in Zollen angiebt, multiplicirt. Das Produkt einer Kraft mit ihrem Hebelarm heißt das Moment der Kraft, und ebenso das Produkt der Last mit ihrem Hebelarm das Moment der Last. So ergiebt sich das allgemeine Hebelgesetz:

Ein Hebel ist im Gleichgewicht, wenn das Moment der Kraft gleich dem Moment der Last ist.

4. Indem man daher die Kraft an einem sehr langen Arm angreifen läßt, kann man bedeutend an Kraft sparen, verliert aber nach der goldenen Regel eben so viel am Wege. Bewegt man an dem in der Zeichnung dargestellten Hebel die Kraft von $1/4$ Pfund 4 Zoll abwärts, so wird, wie man an einem Maßstabe sehen kann, die 4 Mal so große Last nur den vierten Theil, einen Zoll hoch, gehoben. Die Arbeit der Kraft ist $1/4 \times 4/12 = 1/12$ Fußpfund, die der Last $1 \times 1/12 = 1/12$ Fußpfund, so daß an Arbeit Nichts gespart wird.

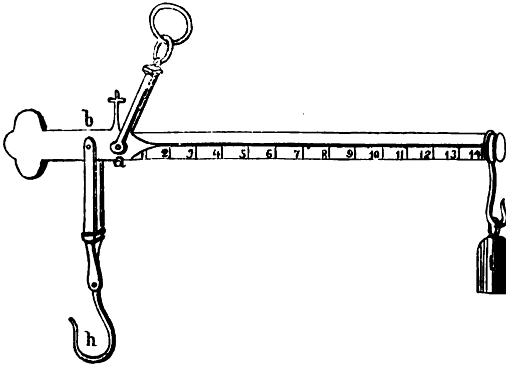
§. 93.

Anwendung des Hebels mit zwei ungleichen Armen.

Als Hebel mit zwei ungleichen Armen wirkt der Hebebaum, wenn er an seinem einen Ende unter die zu hebende Last geschoben und dann auf einen nicht weit davon untergelegten Stein niedergedrückt wird; beim Niederziehen des Schlagbaumes wird die an dem kürzeren Arm wirkende Last durch eine geringe Zugkraft überwunden, die einen größeren Raum durchläuft; die Schaukel, die sich zwei Knaben durch ein über einen Balken gelegtes Brett herstellen, hat ihren Unterstützungspunkt näher dem größeren Knaben. Andere gewöhnliche Anwendungen des Hebels mit zwei ungleichen Armen sind der sogenannte Pumpenschwengel, mittels dessen die eiserne Pumpenstange innerhalb des Pumpenrohrs leicht auf und ab bewegt wird; der Spaten, dessen Unterstützungspunkt beim Losbrechen einer Erdscholle an der Kante des noch festen Erdreichs liegt; die Thürklinke und der Nußknacker. Die **Schnellwage** hat einen kürzeren Arm, an dem die

Last hängt, und einen längeren, eingetheilten Arm, auf welchem sich ein Gewicht, der sogenannte Läufer, verschieben läßt, so daß ein und dasselbe Gewicht, in verschiedenen Entfernungen vom Unterstützungspunkte, verschiedenen Lasten das Gleichgewicht halten kann. Scheeren und Zangen sind doppelte zweiarmige Hebel mit gemeinschaftlichem Unterstützungspunkte und überwinden leicht den Widerstand, der sich dem kürzeren Arm entgegenstellt.

Fig. 67.

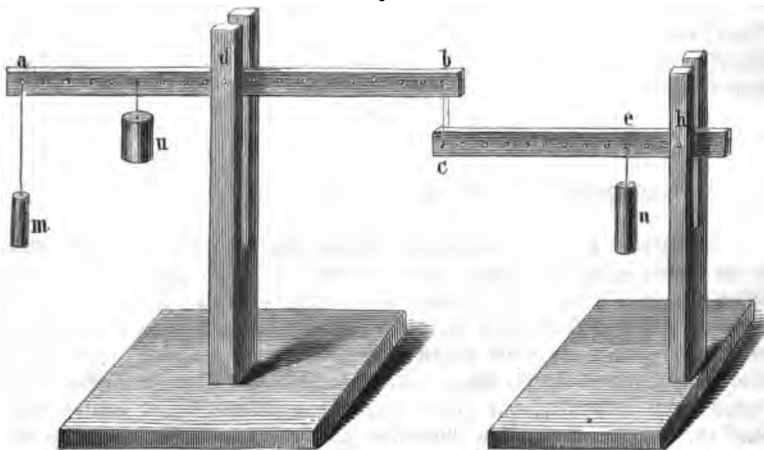


§. 94.

Der einarmige Hebel und seine Anwendung.

1. Eine überall gleiche Holzstange sei an ihrem einen Ende durchbohrt und hier auf einen festen, horizontalen Stift geschoben, so daß sie sich um denselben drehen läßt. Sie bildet dann ebenfalls einen Hebel, aber einen

Fig. 68.



einarmigen, an dem Last und Kraft an einer und derselben Seite des Unterstützungspunktes wirken. Das freie Ende dieses einarmigen Hebels werde an den einen Arm der Hebelvorrichtung §. 90 mittels eines Drathes oder Fadens gehängt, und der andere Arm jener Hebelvorrichtung durch ein

angehängtes Eisenstück so stark beschwert, daß beide Hebel wagerechte Stellung annehmen. Hängt man nun an die Mitte des einarmigen Hebels 2 Pfund und an den freien Arm des zweiarmigen Hebels 1 Pfund, welches mit der Kraft von 1 Pfund das Ende des einarmigen Hebels emporzieht, so wird derselbe im Gleichgewicht sein. Denn die Kraft ist doppelt so weit vom Unterstützungspunkte entfernt, als die Last; der Arm, an dem die Last wirkt, macht nur einen Theil von dem aus, an welchem die Kraft angebracht ist. Hängt man an den einarmigen Hebel 1 Pfund 3 Zoll vom Unterstützungspunkte, so muß man zur Herstellung des Gleichgewichts rechts an den gleicharmigen $1/4$ Pfund hängen; das Viertelpfund hat das Moment $1/4 \times 12 =$ 3 Pfund; das Pfundgewicht 1×3 Pfund. Also ist auch **der einarmige Hebel im Gleichgewicht, wenn das Moment der Kraft gleich dem der Last ist.**

2. **Anwendungen** des einarmigen Hebels. Wird ein Hebebaum unter einen Wagen geschoben und mit seinem einen Ende auf die Erde gestützt, so wirkt er als einarmiger Hebel; an der Schiebkarre liegt beim Emporheben der Last der Unterstützungspunkt in der Axe des Rades, und der Angriffspunkt der Kraft ist von ihm weiter entfernt, als die Last; wenn ein Mann und ein Kind gemeinsam eine Last an einer Stange tragen, so liegt die Last dem Manne näher, weil sie jeder von ihnen an einem einarmigen Hebel trägt, dessen Unterstützungspunkt in der Hand des Andern liegt; einarmige Hebel sind ferner die Stroh- und Tabaksschneiden, wie auch das Sicherheisventil (§. 196) an Dampfmaschinen; einen doppelten einarmigen Hebel bildet die Citronenpresse. Unsere Arme sind einarmige Hebel, unterstützt im Schultergelenk, in Bewegung gesetzt durch einen Muskel am Oberarm und so eingerichtet, daß mit Verlust von Kraft eine geringe Muskelbewegung eine schnelle Bewegung des Arms zur Folge hat; das Emporheben einer Last mit ausgestrecktem Arm ist daher ein Kraftstück, weil eine Muskelkraft aufgewandt werden muß, die mehrere Male so groß ist, als das Gewicht der Last.

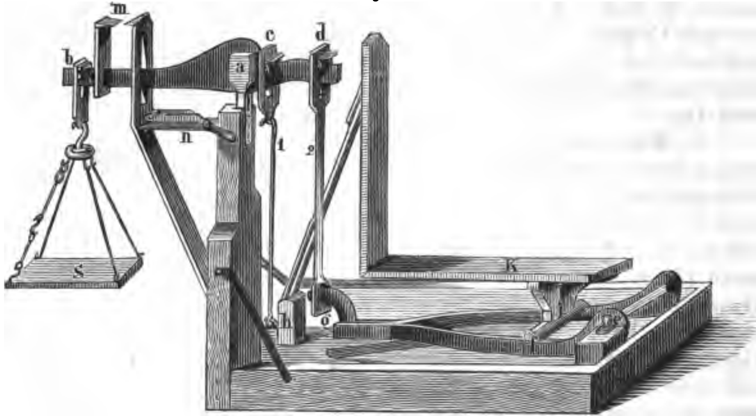
§. 95.

Die Brückenwage.

Die **Brückenwage**, die zum Wägen größerer Lasten ungemein bequem ist und sich auf jedem Bahnhofe findet, ist eine Zusammenstellung ungleicharmiger Hebel und zwar eines zweiarmigen und eines einarmigen. Den zweiarmigen Hebel bildet der Wagebalken bd; an dem linken Ende seines einen Arms hängt die Wageschale, dieser Arm ist zehn Mal so lang, als der andere, welchen die Last niederdrückt, so daß ein Gewicht von 1 Pfund einer Last von 10 Pfunden das Gleichgewicht hält. Statt aber die Last an den kürzeren Hebelarm selbst zu hängen, wird sie auf die Brücke gelegt, einen hölzernen, mit Eisenblech beschlagenen Rahmen; links hängt die Brücke an einer am kürzeren Arm des Wagebalkens angreifenden Zugstange Nr. 1, und rechts an ihrem breiteren Ende ruht sie auf einem unter ihr befindlichen, einarmigen Hebel efg. Die Last wirkt also theils mittels jener Zugstange auf den kürzeren Arm des

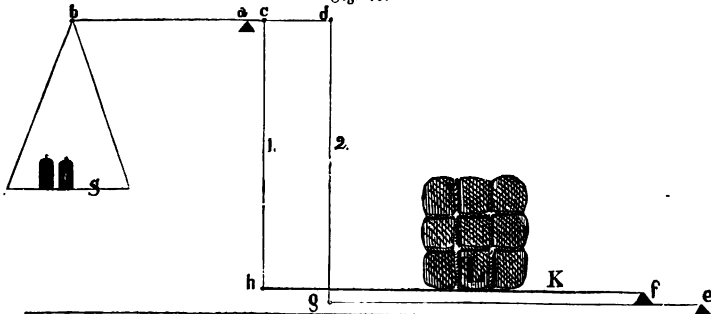
Wagebalkens, theils drückt sie den unter der Brücke befindlichen Hebel nieder. Damit dieser Theil des Gewichts nicht verloren gehe, hängt der Hebel, der seinen Unterstützungspunkt rechts von dem breiten Ende der Brücke, im Gestell der Wage hat, links mittels einer zweiten Zugstange Nr. 2 gleichfalls an dem Wagebalken, aber entfernter vom Unterstützungspunkte desselben, als die Zugstange der Brücke selbst Nr. 1 angreift. Da nämlich die Brücke auf einen Punkt f des unteren einarmigen Hebels drückt,

Fig. 69.



der seinem Unterstützungspunkte nahe liegt, so wird sie, wenn der ganze Hebel etwa 5 Mal so lang ist, auf das Ende desselben g und die Zugstange eine 5 Mal zu kleine Wirkung ausüben; ist nun aber die Zugstange dieses Hebels vom Unterstützungspunkt des Wagebalkens 5 Mal so weit entfernt, als die

Fig. 70.



erste Zugstange, so wird dadurch seine Wirkung auf den Wagebalken 5 Mal so groß und der Verlust wieder ausgeglichen. Auf welche Stelle der Brücke man daher eine Last legen mag, stets wirkt ein Theil derselben unmittelbar durch die Zugstange der Brücke, der andere durch den Hebel und dessen Zugstange ganz so, als hinge die ganze Last an der ersten Zugstange oder an einem Arm des Wagebalkens, der 10 Mal kürzer ist, als der andere, welcher die Wageschale trägt. Der Wagebalken trägt eine wagerechte Spitze m, die beim Eintreten des

Gleichgewichts einer anderen, am Gestell angebrachten Spitze gegenüber stehen muß. Um die Wage, wenn sie nicht gebraucht wird, zu schonen, läßt sich durch einen Handgriff der Wagebalken sammt der Brücke verschieben, so daß diese auf dem Gestelle ruht.

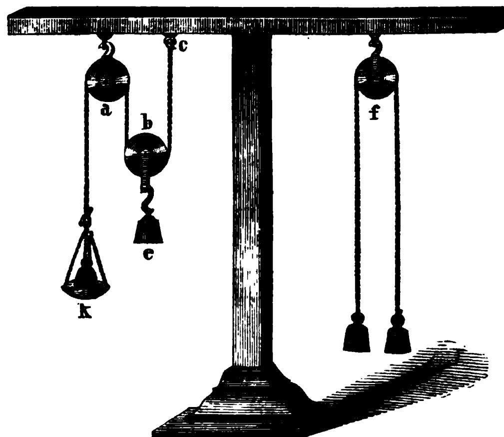
§. 96.

Die Rolle.

1. Die Rolle ist eine kreisrunde, zur Aufnahme einer Schnur an ihrem Umfange ausgehöhlte Scheibe, die sich um eine durch ihren Mittelpunkt gehende Axe drehen läßt.

Man unterscheidet feste und bewegliche Rollen; während die festen sich bloß um ihre Axe drehen können, lassen sich die beweglichen Rollen sammt ihrem Gestelle (der Scheere oder Flasche) außerdem noch aufwärts oder abwärts bewegen. Läuft über eine **feste Rolle** eine Schnur, so ist Gleichgewicht da, wenn an den beiden Enden derselben gleiche Gewichte hängen. Denkt man sich nämlich von einer Seite der Schnur zur andern mitten über die Rolle eine wagerechte Linie, so zeigt sich, daß die feste Rolle ein gleicharmiger Hebel ist, dessen Unterstützungspunkt in der Mitte der Rolle liegt. **Die feste Rolle ist im Gleichgewicht, wenn die Kraft der Last gleich ist.** Deshalb dient die feste Rolle nicht, um an Kraft zu sparen, sondern um die Richtung einer Bewegung zu ändern. Diesen Zweck erreicht man durch sie an Thüren, die ein hinabsinkendes Gewicht schließt, an der Ramme, da es den Arbeitern passender ist, abwärts zu ziehen, für Kronleuchter und Lampen, die man will herablassen können.

Fig. 71.



2. Bei einer **beweglichen Rolle** hängt die hinauf zu ziehende Last mittels einer Scheere oder Flasche am Mittelpunkte derselben; das eine Ende der Schnur ist oben befestigt, sie läuft unterwärts der Rolle, und ihr anderes Ende braucht nur mit einer Kraft emporgezogen zu werden, die halb so groß ist, als die Last. Denn jede bewegliche Rolle ist ein einarmiger Hebel, dessen einer Arm doppelt so lang ist, als der andere, und dessen Unterstützungspunkt an der einen Seite liegt, wo die Schnur befestigt ist. Da somit **die bewegliche Rolle das Heben einer Last um die Hälfte erleichtert**, werden häufig mehrere bewegliche Rollen mit mehreren unbeweg-

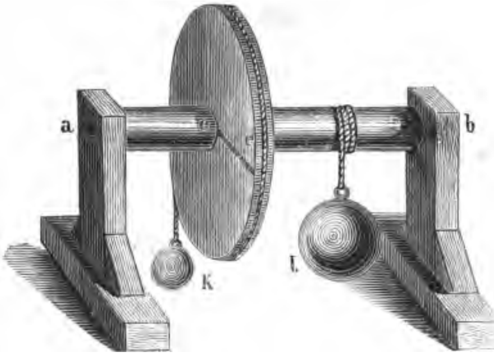
lichen zu einem Flaschenzuge verbunden und bei Bauten zum Emporwinden der schweren Lasten angewandt.

§. 97.

Das Rad an der Welle.

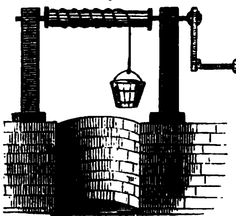
1. Häufig werden Räder angewandt, die sich zugleich mit einer Walze umdrehen. Ein an eine Walze befestigtes und sich mit ihr um dieselbe Axe drehendes Rad heißt **ein Rad an der Welle oder ein Wellenrad.** Die Walze heißt die Welle; an ihr hängt die zu hebende Last; die Kraft greift am Rade an. Befestigt man an das Seil der Welle 8 Pfund, und tritt das Gleichgewicht ein, wenn man an das Rad 1 Pfund anhängt, so wird man beim Ausmessen zugleich finden, daß das Rad einen 8 Mal so großen Halbmesser hat, als die Welle. In jeder Stellung stellt das Wellenrad einen Hebel mit zwei ungleichen Armen dar, die so lang sind, wie der Halbmesser des Rades und der der Welle. **Das Rad an der Welle ist im Gleichgewicht, wenn die Kraft eben so oft in der Last enthalten ist, als der Halbmesser der Welle in dem des Rades.** Dafür ist aber auch der Weg, durch den die Last bei jeder Umdrehung der Welle gehoben wird, nach der goldenen Regel eben so viel Mal kleiner.

Fig. 72.



2. Das in Fig. 72 gezeichnete Rad ist ein vollständiges Rad, eben so Wasserräder und Rouleaurstäbe. Häufig wird aber das Rad durch einzelne Halbmesser, durch Speichen ersetzt, wie es am Göpel und den Windmühlenflügeln der Fall ist. Eine einzige, mit einem Handgriff versehene Wellenspeiche heißt eine Kurbel, wie wir sie an der dargestellten Winde des Schöpfbrunnens, am Schleifstein, der Drehrolle, dem Leierkasten, der Kaffeemühle antreffen.

Fig. 73.



§. 98.

Rückblick auf die einfachen Maschinen.

Die schiefe Ebene, der Keil, die Schraube, der Hebel, die Rolle und das Rad an der Welle heißen die sechs **einfachen Maschinen oder Maschinenelemente,** weil sie die Grundbestandtheile aller Maschinen ausmachen. Die

drei ersten einfachen Maschinen beruhen auf den Gesetzen der **schiefen Ebene.** Während die schiefe Ebene selbst fest liegt und unbeweglich bleibt, ist der Keil eine bewegliche, nicht gewundene schiefe Ebene, und die Schraube eine bewegliche, gewundene schiefe Ebene. Je kleiner bei ihnen die Höhe der schiefen Ebene, der Rücken des Keils und die Höhe eines Schraubengangs ist, desto weniger Kraft wird erfordert, und desto kleiner ist der Weg, den die Last durchläuft. Auf die Gesetze **des Hebels** sind auch die Rolle und das Wellenrad zurückzuführen. Der Hebel selbst kann nur absatzweise arbeiten, Rolle und Wellenrad aber wirken in jeder Stellung als beständige Hebel. Die feste Rolle ist ein beständiger Hebel mit zwei gleichen Armen, die bewegliche Rolle ein beständiger Hebel mit doppelt so langem Arm der Kraft, das Wellenrad ein beständiger Hebel mit bedeutend längerem Arm der Kraft. An diesen drei Maschinen wird eine desto kleinere Kraft erfordert, je länger der Arm ist, an dem sie angreift; desto kleiner ist aber der Weg, den die Last durchläuft. Die goldene Regel gilt daher für alle einfachen Maschinen, und bei allen, besonders bei den drei ersten, tritt ein Verlust an Arbeit ein, den die Reibung verursacht.

---

b. Der Schwerpunkt.

§. 99.

Das rings um den Schwerpunkt bestehende Gleichgewicht.

Wie an dem Hebel die Arme auf beiden Seiten des Unterstützungspunktes sich das Gleichgewicht halten, so kann man jeden Stab, den man quer über einen Finger legt, in einem Punkte so unterstützen, daß die eine Seite der andern das Gleichgewicht hält. Legt man eine kreisrunde, überall gleich dicke Metallscheibe, z. B. einen zinnernen Teller, mit seiner Mitte auf eine Fingerspitze, so wird die uns zugewandte Seite der von uns abgewandten, und die rechte der linken das Gleichgewicht halten. In ähnlicher Weise läßt sich bei jedem Körper ein Punkt finden, um welchen alle Theile eines Körpers einander das Gleichgewicht halten. Dieser Punkt heißt der Schwerpunkt; denn für die Wirkung der Schwerkraft kommt es darauf an, ob dieser Punkt unterstützt ist oder nicht. Ist der Schwerpunkt eines Körpers unterstützt, so kann die Schwerkraft allein ihn nach keiner Seite hinabziehen; ist aber der Schwerpunkt nicht unterstützt, so erlangt die Seite, wo der Schwerpunkt liegt, das Uebergewicht, und der Körper fällt, bis der Schwerpunkt die möglichst niedrige Stelle einnimmt.

Gesetze: I. Ein Körper ist unterstützt, wenn sein Schwerpunkt unterstützt ist.

II. Der Schwerpunkt strebt, lothrecht zur Erde zu fallen und die möglichst tiefe Stelle einzunehmen.

§. 100.

Die Lage des Schwerpunktes.

1. Versucht man, eine kreisrunde Scheibe oder ein regelmäßiges Viereck auf einem senkrechten Stifte oder auf einem Uhrglase ins Gleichgewicht zu bringen, so findet man, daß bei regelmäßigen und überall gleich dichten Körpern der Schwerpunkt in der Mitte derselben liegt. Der Schwerpunkt einer Kugel ist demnach in ihrem Mittelpunkte, der einer Walze in der Mitte ihrer Axe zu suchen.

2. Von einem Hammer oder einem Stabe, dessen eines Ende ausgehöhlt und mit Blei ausgegossen ist, kann der Schwerpunkt unmöglich in der Mitte liegen; sondern er liegt bei Körpern von ungleicher Dichtigkeit dem dichteren Theile näher oder in demselben. Darum richten die Stehaufs, kleine Figuren aus Fliedermark mit einem halbkugelförmigen Fuß von Blei, sich empor, wenn sie auf die Seite gelegt werden, weil der Schwerpunkt in der Bleimasse liegt und nicht unterstützt ist; und mit falschen Würfeln werden darum stets die höheren Nummern geworfen, weil sie in der Nähe der ungünstigen Nummern Blei enthalten.

§. 101.

Unterstützung des Schwerpunktes durch Aufhängen und Balanciren.

1. Bei **hängenden** Körpern muß der Schwerpunkt senkrecht unter dem Aufhängungspunkte liegen, wenn sie ruhen sollen; bringt man sie seitwärts aus dieser Stellung, so schwingen sie hin und her, bis sie in ihre frühere Lage zurückgekehrt sind. Man kann daher durch Aufhängen den Schwerpunkt einer Scheibe von ungleichmäßiger Form finden; man hängt sie nämlich an einem beliebigen Punkte ihres Randes auf, hält ein Bleiloth an diesen Punkt und zieht längs desselben auf der Scheibe eine gerade Linie; darauf hängt man die Scheibe an irgend einem andern, seitwärts liegenden Punkte auf und zieht auch von diesem abwärts eine senkrechte Linie; der Schwerpunkt muß in beiden Linien, also da liegen, wo sich beide durchschneiden. Die Sägemänner, die galoppirenden Pferde und die Vogelscheuche, eine ausgestopfte Eule, die an einen halbkreisförmigen Drath mit zwei hinabhängenden Kugeln befestigt und mittels eines Stifts auf einen Baumzweig gestellt ist, haben gleich hängenden Gegenständen ihren Schwerpunkt unter dem Unterstützungspunkte und bewegen sich daher, sobald sie angestoßen werden, ganz wie hängende Körper.

2. Umgekehrt muß beim **Balanciren** eines Gegenstandes auf einem Punkte der Hand sein Schwerpunkt gerade senkrecht über dem Unterstützungspunkte liegen; man muß daher den Unterstützungspunkt stets dahin bewegen, wohin der Gegenstand fallen will. Am leichtesten lassen sich schwere und hohe Körper balanciren; schwere, weil man an ihnen leichter jede Bewegung des Schwerpunktes fühlt, und

hohe, weil ihr Schwerpunkt beim Fallen einen größern Weg durchlaufen muß und Zeit genug läßt, um den Unterstützungspunkt unter ihn zu schieben.

§. 102.

Unterstützung des Schwerpunktes durch eine Fläche.

1. Wie bei Gegenständen, die man auf einem Finger balancirt, liegt bei allen Körpern, die nicht hängen, ihr Schwerpunkt höher, als ihre Unterstützung; damit sie fest stehen, müssen sie auf mehreren Seiten des Schwerpunktes, in mehreren Punkten unterstützt werden. Verbindet man die Punkte, wo die Stützen, z. B. die vier Füße eines Tisches, auf einer horizontalen Fläche stehen, durch gerade Linien, so heißt diese von den Verbindungslinien der Stützpunkte umgrenzte Fläche die Unterstützungsfläche.

Jeder Körper steht so lange fest, als sein Schwerpunkt noch senkrecht über seiner Unterstützungsfläche liegt.

Daher kann eine Säule oder Mauer schief stehen, ohne umzufallen; Felsblöcke können überhängen, Schiffe können auf dem sturmbewegten Meere sehr schräge Stellungen annehmen, ohne umzuschlagen. Zu Pisa, Bologna und Saragossa giebt es schiefe Thürme, die noch fest stehen.

2. Ein mit Wasser gefülltes Glas steht fester, als ein leeres; ein Buch liegt sicherer auf einer seiner breiten Flächen, während es bei aufrechter Stellung wenig sicher steht; eine umgekehrte Flasche fällt leichter um, als eine auf ihrem Boden stehende.

Je größer das Gewicht und die Unterstützungsfläche eines Körpers ist, und je näher ihrer Mitte sein Schwerpunkt liegt, desto fester steht der Körper.

Aus diesem Grunde haben die Aegypter ihren Riesenbauten die Form von Pyramiden gegeben; Mauern werden stets unten am stärksten gemacht; die Fußgestelle von Lampen werden möglichst schwer gearbeitet, leere Schiffe durch Ballast vor dem Umschlagen gesichert, und die Lasten auf einen hochzubeladenden Wagen so vertheilt, daß die schwersten unten liegen.

§. 103.

Unterstützung des Schwerpunktes lebender Körper.

Bei lebenden Wesen läßt sich die Lage des Schwerpunktes durch Bewegung der Glieder verändern.

Beim Ausstrecken des rechten Arms neigt sich der Schwerpunkt nach dieser Seite hin; beim Gehenlernen übt sich das Kind im Unterstützen und im Fühlen seines eigenen Schwerpunktes; Lastträger halten sich nach der der Last entgegengesetzten Seite; beim Bergsteigen neigen wir uns vornüber, weil wir nicht auf der schrägen, sondern auf der horizon-

talen Fläche aufrecht stehen müssen. Die Seiltänzerkünste erfordern ein feines Gefühl vom Schwerpunkte des Körpers und eine Geschicklichkeit, ihn über einer schmalen Unterstützungsfläche zu erhalten, was durch Verschieben der Balancirstange erleichtert wird.

---

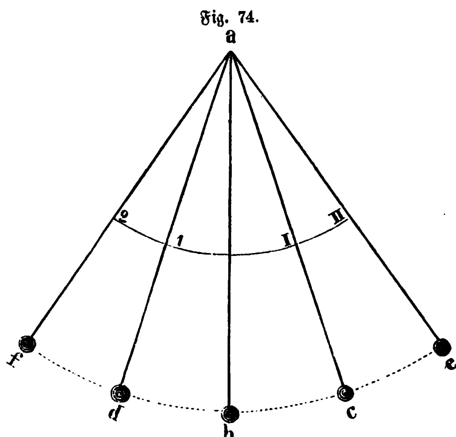
c. Das Pendel.

§. 104.

Das Pendel und seine Anwendung.

1. **Das Fadenpendel.** Eine an einem sehr dünnen Faden hängende Metallkugel, die man aus der lothrechten Stellung entfernt und in dem Punkte e sich selbst überlassen hat, wird zuerst von der Schwerkraft mit zunehmender Geschwindigkeit hinabgezogen, kann aber nach dem Beharrungsgesetz in der lothrechten Stellung ihre Bewegung nicht plötzlich verlieren, sondern steigt, indem nun die Schwerkraft ihre Geschwindigkeit vermindert, immer langsamer nach der andern Seite bis zum Punkte f empor. Beim Ende dieses Steigens ist die Kugel wegen des Widerstandes der Luft und der Reibung im Aufhängepunkte nicht ganz so hoch, als der Punkt e liegt, gelangt, verliert ihre Geschwindigkeit und schwingt, von der Schwerkraft ergriffen, hin und her. Jeden hängenden, in Schwingungen versetzten Körper nennt man ein **Pendel.** Das einfachste Pendel ist das Fadenpendel. Die Dauer einer Schwingung wird vom Anfang des Fallens bis zum Ende des Steigens gerechnet; jeder Hingang bildet eine Schwingung, eben so jeder Hergang. Der vom Pendel durchlaufene Kreisbogen heißt der Schwingungsbogen. Wegen der Hindernisse der Bewegung werden die Schwingungsbogen allmählich immer kleiner.

Fig. 74.



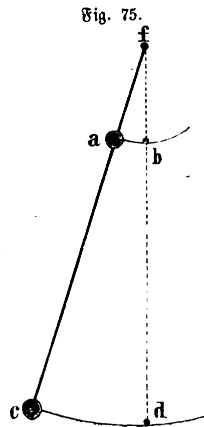
2. **Die Pendelgesetze.** Zählt man zuerst die Schwingungen eines Fadenpendels, die es in einer Minute ausführt, und wieder, wenn die Schwingungsbogen sehr klein geworden sind, seine Schwingungen in der fünften Minute, so wird die Schwingungszahl trotz der Verschiedenheit der Schwingungsbogen in den gleichen Zeiten gleich groß sein. Nimmt man zwei ganz gleiche Fadenpendel, die zu gleichen Schwingungsbogen gleiche Zeit gebrauchen, vorausgesetzt, daß die

Weite der Schwingungen nicht zu groß ist, so werden sie auch bei ungleichen Schwingungsbogen gleichzeitig schwingen. Das höher gehobene Pendel Nr. II erlangt, indem es gleichsam auf einer steileren schiefen Ebene fällt, sogleich eine größere Geschwindigkeit und durchläuft den Bogen eb, während das Pendel Nr. I den Weg cb zurücklegt.

Erstes Pendelgesetz: Die einzelnen kleineren Schwingungen eines und desselben Pendels haben gleiche Zeitdauer.

Stellt man sich mehrere gleich lange Fadenpendel her, deren Kugeln aus verschiedenen Stoffen bestehen, so schwingen alle gleich schnell und lehren, daß die Schwingungsdauer nicht von dem Gewicht des Körpers, sondern nur von der Länge des Pendels abhängig ist. Von zwei ungleich langen Pendeln sieht man das kürzere schneller schwingen. Entfernt man ein Pendel von 1 Fuß und eins von 4 Fuß Länge gleich weit von der lothrechten Richtung, so sind die Wege, die sie zu durchlaufen haben, gleich schräg, aber der des längeren Pendels ist 4 Mal so lang; nach dem dritten Fallgesetz wird ein vierfacher Fallraum in der doppelten Zeit zurückgelegt, und das 4 Mal so lange Pendel wird, wie man leicht beobachten kann, zu einer Schwingung die doppelte Zeit gebrauchen.

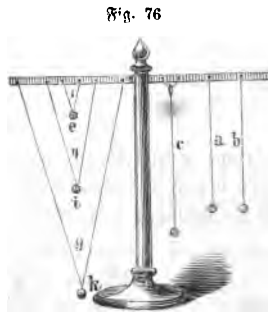
Fig. 75.



Zweites Pendelgesetz: Längere Pendel schwingen langsamer, als kürzere, so daß sie bei vierfacher Länge die doppelte, bei neunfacher die dreifache, bei sechszehnfacher die vierfache Zeit zu einer Schwingung gebrauchen.

3. **Das Stangenpendel.** Häufig besteht das Pendel aus einer Metallstange, an der sich eine Scheibe, die Linse genannt, verschieben läßt. Auch für Stangenpendel gelten die Pendelgesetze. Aber, wie man mit Hülfe eines aus Drath gefertigten Pendels ermitteln kann, schwingen Stangenpendel schneller, als Fadenpendel. Auch die oberen Punkte der Stange haben Gewicht, sie bilden kürzere Pendel und bewirken schnellere Schwingungen. Ist die Länge eines Pendels angegeben, so ist immer die eines Fadenpendels gemeint.

Fig. 76

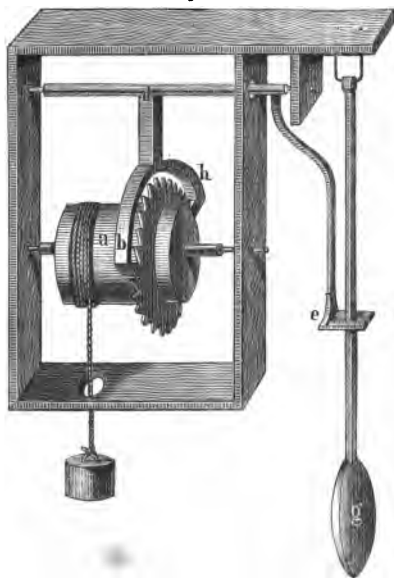


4. Ein 3 Fuß und 2 Zoll langes Pendel, das bei uns zu jeder Schwingung eine Secunde gebraucht, macht am Aequator weniger, nach dem Nordpol zu mehr, als 60 Schwingungen in einer Minute. Da aber die Ursache der Pendelschwingungen die Schwerkraft ist und ihre Stärke abnimmt, je weiter man sich vom Mittelpunkte der Erde entfernt, so **läßt sich aus den langsameren Pendelschwingungen am Aequator schließen,**

daß ein Punkt am Aequator weiter vom Mittelpunkte der Erde entfernt ist, als ein Punkt in der Nähe der Pole, oder **daß die Erde abgeplattet sei.**

5. Ein Mal angestoßen, schwingt das Pendel über derselben geraden Linie hin und her, ohne von dieser Schwingungslinie abzuweichen. Man mußte daher nicht wenig erstaunt sein, als man an einem über 200 Fuß langen, durchaus frei beweglich in der Kuppel des Pantheons zu Paris aufgehängten Pendel, dessen Metallkugel 56 Pfund wog, die Entdeckung machte, daß **das Pendel immer mehr von seiner Schwingungslinie abwich,** oder vielmehr, daß die am Fußboden bezeichnete ursprüngliche Schwingungslinie sich drehte und allmählich eine vollständige Umdrehung vollendete. So giebt das Pendel einen handgreiflichen **Beweis für die Umdrehung der Erde um die Axe.**

Fig. 77.



6. Wegen der an einem und demselben Orte stets gleichen Zeitdauer seiner kleineren Schwingungen ist das Pendel im Jahre 1658 von Huyghens angewandt, um den Gang der **Uhren** zu reguliren. In den Wanduhren wird nämlich durch das Hinabsinken eines Gewichts ein Rad in Bewegung gesetzt, um dessen Axe die Uhrkette geschlungen ist; da aber das Gewicht, wie jeder fallende Körper, mit zunehmender Geschwindigkeit hinabsinkt, so würde die Uhr schneller und immer schneller gehen, wenn nicht eine Hemmung einträte. Diese Hemmung übernimmt das Pendel, das mittels eines Hakens, des Uhrankers, in die Zähne des Rades eingreift und bei jeder Schwingung nur einem Zahn desselben weiter zu gehen gestattet. Deshalb fällt das Gewicht absatzweise in kleinen, gleichen Zeiträumen; in gleichen Zeiten muß es aber, da es den Fall immer von Neuem beginnt, durch gleiche Räume fallen und sich gleichmäßig bewegen.

---

d. Der Maschinenbau.

§. 105.

Die Aufgabe des Maschinenbaues.

Der Zweck aller Maschinen ist, eine Kraft, über die man gebieten kann, in den Stand zu setzen, mechanische Arbeiten von Werth zu verrichten. Die Kraft des Wassers, das auf der schiefen Ebene des

Flußbettes hinabfließt, die Zugkraft der Pferde, die Kraft des Wasserdampfes lassen sich so umgestalten, daß sie Getreide mahlen, Wolle spinnen, Bretter sägen. Dazu wird erfordert, daß die Maschinentheile, welche diese Arbeit verrichten, mit angemessener Kraft und Geschwindigkeit arbeiten, daß sie sich entweder mit geringer Kraft schnell bewegen oder mit geringer Geschwindigkeit große Kraft äußern.

Die ursprüngliche Leistung der Kraft kann durch keine Zusammenstellung von Rädern, Hebeln und andern einfachen Maschinen vergrößert werden. Was man durch eine einfache Maschine an Kraft gewinnt, verliert man an Geschwindigkeit, und umgekehrt. Einfache Maschinen sind aber die Bestandtheile der zusammengesetzten. Bewegt die arbeitende Kraft mit der Leistung von einer Pferdekraft die erste einfache Maschine, so kann diese der zweiten keine größere Leistung übertragen, und das letzte Maschinenelement würde wieder eine Arbeit von einer Pferdekraft leisten, wenn nicht die Reibung an einer zusammengesetzten Maschine die Hälfte von der ursprünglichen Leistung der Kraft verzehrte. Arbeitet daher die bewegende Kraft mit einer Leistung von einer Pferdekraft, so kann man nur über eine halbe Pferdekraft gebieten, sie zweckmäßig verwenden und einrichten.

§. 106.

Die Theile einer zusammengesetzten Maschine.

1. Jede zusammengesetzte Maschine besteht aus drei Haupttheilen. Ein Maschinentheil ist zur Aufnahme der Kraft bestimmt und heißt die **Kraftmaschine**; an einer Wassermühle erfährt das Wasserrad unmittelbar die Einwirkung der Kraft. Ein anderer Maschinentheil, in der Mühle der umlaufende Mühlstein, hat unmittelbar die Arbeit zu verrichten und heißt die **Arbeitsmaschine**. Ein dritter Theil, wie in der Mühle die gezahnten Wellenräder, leitet die Bewegung von der Kraftmaschine bis zur Arbeitsmaschine und hat von seiner Stellung zwischen beiden den Namen der **Zwischenmaschinen**.

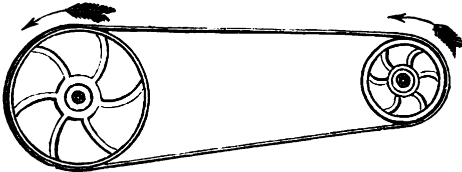
2. Die Fortleitung der Bewegung ist nur ein Zweck, dem die Zwischenmaschinen dienen. Häufig hat die Kraftmaschine eine drehende oder Radbewegung, und die Arbeitsmaschine soll eine hin- und hergehende Bewegung erhalten, oder umgekehrt. Diese Verwandlung der Bewegungsart wird ebenfalls durch Zwischenmaschinen erreicht. Drittens muß die Arbeitsmaschine einen regelmäßigen Gang haben, wenn auch die bewegende Kraft oder einzelne Maschinentheile Unregelmäßigkeiten der Bewegung hervorbringen; die Bewegung muß regelmäßig gemacht oder regulirt werden. Sonach zerfallen die Zwischenmaschinen in drei Klassen: 1) Maschinen zur Fortleitung der Bewegung; 2) Maschinen zur Verwandlung der Radbewegung in eine hin- und hergehende und umgekehrt, und 3) Maschinen zur Regulirung der Bewegung.

§. 107.

Maschinen zur Fortleitung der Bewegung.

1. **Die Schnur ohne Ende** ist ein Riemen oder eine Kette, deren Enden an einander befestigt und die über zwei an verschiedenen Wellen befindliche Räder gelegt ist. Zugleich läßt sich die Geschwindigkeit der Bewegung verändern, sofern ein Rad mit halb so großem Durchmesser sich doppelt so schnell bewegt. Die Schnur ohne Ende finden wir an Spinnrädern oder Drehbänken, in Spinnmaschinen und Schleifmühlen.

Fig. 78.



2. **Die gezahnten Räder** zerfallen in drei Arten, Sternräder, Kronräder und Kegelräder. Beim Stern- oder Stirnrade bilden die Zähne Verlängerungen der Halbmesser; die gezahnten Wellen oder kleineren Sternräder, in welche die größeren eingreifen, heißen Getriebe. Die Leistung hängt von der Anzahl der Zähne des Rades und des Getriebes ab; ein Sternrad mit 30 Zähnen giebt einem Getriebe mit 10 Zähnen die dreifache Geschwindigkeit, aber nur den dritten Theil der Kraft. — An den Kronen- oder Kammrädern (Fig. 80) stehen die Zähne lothrecht auf der Fläche des Rades und sind mit seiner Axe gleichlaufend. Sie werden angewandt, um eine liegende Welle durch eine stehende zu bewegen, und umgekehrt. — Die Zähne der Kegel- oder Kreiselräder liegen auf dem Radkranz und steigen schräg auf, nach der Axe der Welle zu (Fig. 81). Durch sie kann auch einer schräg liegenden Welle die Bewegung übertragen werden.

Fig. 79.

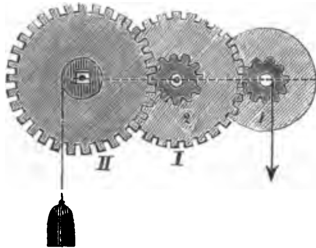


Fig. 80.

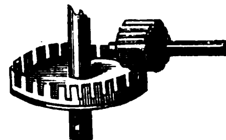
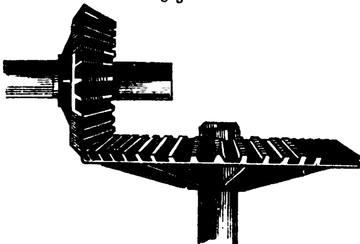


Fig. 81.

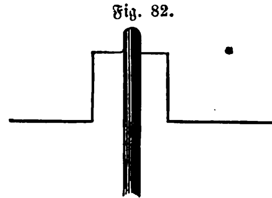


§. 108.

Maschinen zur Verwandlung der Radbewegung in eine hin- und hergehende und umgekehrt.

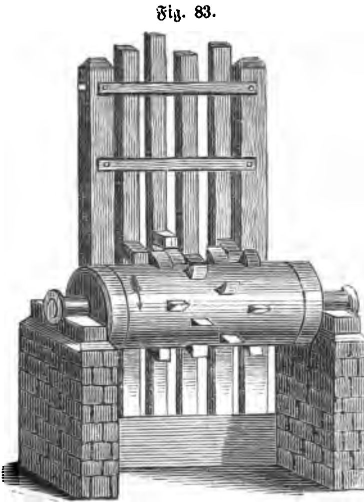
1. **Der Krummzapfen mit Bläuelstange** ist eine Kurbel, die durch eine, die Bewegung bis zu ihm leitende, Stange gedreht wird. Wir finden ihn, um eine Radbewegung hervorzubringen, angewandt am Spinnrade, an der Drehbank, an Schleifmaschinen und Dampfmaschinen. Eine hin- und hergehende Bewegung der Bläuelstange wird benutzt für die Säge der Sägemühlen, das Messer der Papiermühlen, die großen Zangen in Drathziehereien, die zu schleifenden Platten in Spiegelschleifereien, den Abstreifekamm in Spinnmaschinen.

Fig. 82.



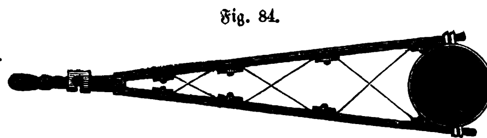
2. **Die Daumenwelle** ist eine mit daumenähnlichen Zähnen versehene Welle, die in Hammerwerken das eine Ende des schweren Hammers niederdrückt und in Stampfwerken lothrecht stehende Balken oder Stampfer emporhebt, die nachher wegen ihrer Schwere wieder hinabsinken.

Fig. 83.



3. **Die excentrische Scheibe** ist ein Rad, dessen Umdrehungsaxe nicht durch seinen Mittelpunkt geht. Während es sich umdreht, liegt der größere Theil desselben bald links, bald rechts von der Axe. Um den Umfang der Scheibe ist ein verschiebbarer Ring gelegt, welcher mittels der Schubstange einen Hebel hin und her schiebt. Eine Hauptanwendung findet die excentrische Scheibe bei der Steuerung der Dampfwagen.

Fig. 84.



§. 109.

Maschinen zur Regulirung der Bewegung (Regulatoren).

1. **Das Schwungrad** ist ein Rad von großem Gewicht, meistens von Eisen, das, einmal in Bewegung gesetzt, in derselben beharrt und auch die übrigen Maschinentheile zu gleichmäßiger Bewegung nöthigt. Dasselbe ist

nothwendig, wo ein Krummzapfen angewandt wird, weil die Bläuelstange in ihrer höchsten und in ihrer niedrigsten Stellung auf die umzudrehende Welle gar keine Wirkung ausübt.

2. **Das Pendel** (§. 104).

3. **Elastische Federn.**

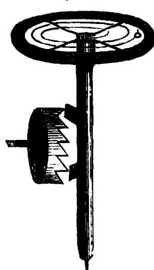
Wie man an einem Stück elastischen Gummis oder an einem um einen Stab zu einer Feder gewundenen Drath sehen kann, nehmen elastische Körper, wenn sie durch irgend eine Kraft zusammengedrückt oder ausgedehnt worden sind, ihre frühere Gestalt und Größe wieder an, sobald jene Kraft zu wirken aufhört. Die Elasticität eines jeden Körpers hat ihre Grenzen; bedeutende Veränderungen ihrer Gestalt gestatten Stahl, gehämmertes Messing, Elfenbein, Fischbein, Gummi, Darm- und Metallsaiten. Die Schnur der Armbrust kehrt beim Abdrücken in ihre frühere Lage zurück, ein Gummiball schnellt empor, indem er sich wieder ausdehnt, die Federn in Flintenschlössern, Thürschlössern, Sophas dehnen sich nach dem Aufhören der Spannung wieder aus. In der Taschenuhr befindet sich als bewegende Kraft eine spiralförmige Feder aus Stahl. Durch Umdrehen des Uhrschlüssels wird sie gespannt, dehnt sich allmählich aus und treibt das Räderwerk der Uhr; da sie aber zuerst mit starker, nach und nach mit geringerer Kraft sich ausdehnt, so muß ihre Bewegung regulirt werden.

Fig. 85.



Als Regulator wirkt die **Spiralfeder mit der Unruhe.** Das äußere Ende der schwachen Feder sitzt an der Uhrplatte fest, während ihr inneres Ende an eine lothrechte Welle, die Spindel, befestigt ist, die oben ein wagerechtes Schwungrad, die Unruhe, trägt. Wird die Unruhe bewegt, so dehnt sich die Spiralfeder aus, und der eine von den beiden Flügeln der Spindel verläßt das Steigrad; sich zusammenziehend, dreht die Spiralfeder die Spindel, bis der andere Flügel in das Steigrad greift; dabei hat aber das in seiner Bewegung beharrende Schwungrad sie zusammengedreht und dehnt sie nachher über ihre frühere Größe aus, so daß sie regelmäßig hin und her schwingen.

Fig. 86.



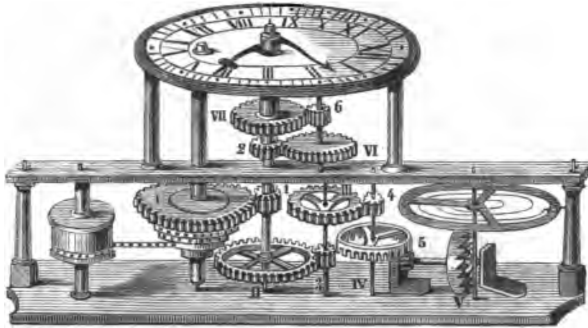
§. 110.

Einrichtung einer Uhr.

Das Werk einer Taschenuhr enthält zwischen den beiden Uhrplatten auf der linken Seite der Zeichnung das Federhaus mit der das Werk treibenden Feder, die dasselbe umdreht, indem sie sich ausdehnt. Die um das Federhaus gewickelte Kette dreht die Schnecke um, einen messingenen Kegel, um den eine schneckenförmige schiefe Ebene läuft, und greift bei voller Kraft der Feder zuerst an kleinere Windungen der Schnecke, wie an einen kürzeren Hebelarm. Die Welle der Schnecke hat einen viereckigen Zapfen, der zum Aufziehen der Uhr mit dem Uhrschlüssel dient. Das Rad über der

Schnecke heißt das Schneckenrad Nr. I und hat 60 Zähne; es greift in ein Getriebe Nr. 1 mit 10 Zähnen und bewegt dadurch das Minutenrad Nr. II mit 60 Zähnen, welches oben über dem Zifferblatt den Minutenzeiger trägt. Das Minutenrad überliefert die Bewegung dem Getriebe Nr. 3 mit 6 Zähnen und dadurch auch dem Mittelrade Nr. III mit 36 Zähnen.

Fig. 87.



Das Mittelrad dreht das vierte Getriebe mit 6 Zähnen und zugleich das Kronrad Nr. IV mit 48 Zähnen. Das Kronrad faßt in das fünfte mit 6 Zähnen versehene Getriebe, das mit dem Steigrad Nr. V an derselben liegenden Welle sitzt. Das Steigrad hat 15 Zähne, und in dasselbe greifen die Flügel der am weitesten nach rechts gezeichneten Spindel, welche die Unruhe mit der Spiralfeder trägt. Die Zeichnung stellt zur Linken die Kraftmaschine, zur Rechten die regulirende Vorrichtung dar.

Macht die Unruhe in einer Secunde 4, in einer Minute 240 Schwingungen, so dreht sich das Steigrad Nr. V, da 30 Schwingungen der Unruhe es zu einem Umlauf nöthigen, in einer Minute 8 Mal um. 8 Umläufe des fünften Getriebes bewirken eine Umdrehung des Kronrades Nr. VI, das 8 Mal so viel Zähne hat. Das Kronrad dreht sich daher in jeder Minute ein Mal um. Sein Getriebe Nr. 4 nöthigt das mit 6 Mal so viel Zähnen versehene Mittelrad Nr. III zu einer 6 Mal so langsamen Bewegung, zu einem Umlauf in 6 Minuten. Indem das Getriebe an der Welle des Mittelrades Nr. 3 das 10 Mal so große Minutenrad Nr. II bewegt, muß dessen Bewegung 10 Mal so langsam werden, so daß das Minutenrad sammt dem Minutenzeiger in einer Stunde einen Umlauf vollendet.

Zwischen der oberen Uhrplatte und dem Zifferblatt ist das Räderwerk für den Stundenzeiger angebracht, der in 12 Stunden einen Umlauf vollenden soll. Das Getriebe des Minutenrades Nr. 2, das Minutengetriebe mit 12 Zähnen, das sich in einer Stunde einmal umdreht, überträgt seine Bewegung dem 4 Mal so großen Wechselrade Nr. VI, das sammt dem sechsten Getriebe zu einem Umlauf 4 Stunden gebraucht. Dies mit 16 Zähnen versehene Getriebe dreht das 3 Mal so große Stundenrad Nr. VII in 3 $\times$ 4, also 12 Stunden einmal um; die Axe des Stundenrades ist eine hohle, über die Axe des Minutenrades mit hinreichendem Spielraum geschobene Röhre und trägt den Stundenzeiger.

§. 111.

Einrichtung einer Mühle.

Eine andere sehr bekannte zusammengesetzte Maschine ist die **Mühle**, deren Arbeit die Zerkleinerung des Getreides ist. Die Bewegung der Kraftmaschine muß so zu den Mühlsteinen fortgeleitet werden, daß deren Geschwindigkeit hinreichend groß wird. Die Welle des Wasserrades dreht ein großes Kegelrad, das einem kleineren, an der lothrechten Welle D befindlichen seine Bewegung überträgt. Das an dieselbe Welle befestigte Sternrad E hat zwei Mahlgänge in Bewegung zu setzen; der zur Linken ist in

Fig. 88.

Thätigkeit, wogegen das Getriebe G verschoben und in Ruhe gesetzt ist. Die Welle F ist durch den Boden B und den festliegenden unteren Mühlstein, den Bodenstein, hindurchgeführt und trägt den oberen, den Läufer, der zugleich mit ihr umläuft. In die einander zugekehrten Flächen der Steine sind Rinnen gehauen, die das Korn zerschneiden. In seinem Mittelpunkte hat der Läufer eine Oeffnung, das Läuferauge, zum Theil verschlossen durch einen eisernen Steg, theilweise geöffnet für das hineinfallende Getreide, das zwischen die Steine gelangt und gemahlen am Rande der Steine in einen verschlossenen Raum und aus diesem durch eine Oeffnung in das Beutelwerk fällt. Das Beutelwerk schüttelt die Mühle durch einen Krummzapfen und eine Bläuelstange und siebt durch die Maschen das Mehl aus. Geschüttet wird das Korn in den trichterförmigen, unten durch den Schuh Z fast verschlossenen Rumpf K; die Welle des Läufers trägt oben einige Stäbe A, die an den Schuh stoßen und die Körner nöthigen, hineinzugleiten. Ist der Rumpf fast leer, so ertönt eine Glocke a. Von dieser führt eine Schnur zu dem Pflocke e und über eine Rolle in den Rumpf K; hier ist

ein leichtes Stück Holz daran gebunden und unter das Getreide gesteckt; hat dasselbe sehr abgenommen, so kann es das Holz nicht mehr zurückhalten, der Pflock e sinkt und wird von dem an der Welle befindlichen Stabe b bei jeder Umdrehung angestoßen, so daß die Glocke ertönen muß.

C. Wirkungen der Schwerkraft auf tropfbarflüssige Körper.

§. 112.

Der geringe Zusammenhang der Theile eines tropfbarflüssigen Körpers.

Die Theile einer tropfbaren Flüssigkeit **haben geringe Cohäsion**; denn kleine Mengen derselben nehmen wegen der nach allen Seiten gleichen Kraft des Zusammenhanges Kugelgestalt an oder bilden Tropfen, wie die Thränen-, Regen- und Thautropfen. Die Cohäsion einer Flüssigkeit zeigt sich auch darin, daß man so viel Wasser in ein Glas gießen kann, daß es einen Berg darüber bildet; daß man eine feine Nadel auf Wasser legen kann, ohne daß sie die Flüssigkeitstheile zu trennen vermag; daß ein aus dem Wasser gezogenes Stäbchen einen Wasserfaden nach sich zieht, indem ein Wassertheilchen sich an das andere hängt. Während aber die Kraft des Zusammenhanges die Theile eines festen Körpers so stark zusammenhält, daß er sich in einzelnen Punkten unterstützen läßt, verschieben sich die Theile einer Flüssigkeit sehr leicht, nicht bloß beim Hinabfließen von schiefen Ebenen, wie bei allem fließenden Wasser; sondern sogar, wenn eine Flüssigkeit auf eine horizontale Fläche gegossen wird, bewegt der Druck der oberen Flüssigkeitstheilchen die unteren aus einander, und sie zerfließen. Diesem durch die Schwerkraft bewirkten Auseinanderfließen setzen die Seitenwände des Gefäßes, in welches die Flüssigkeit gegossen wird, einen Widerstand entgegen; daher nehmen tropfbarflüssige Körper die Gestalt ihrer Behälter an. Wegen dieser großen Beweglichkeit einer Flüssigkeit giebt die Schwerkraft ihrer ruhenden oder bewegten Oberfläche eine eigenthümliche Gestalt und schreibt dem Druck tropfbarflüssiger Körper besondere Gesetze vor.

---

a. Die ruhende Oberfläche und die Wellenbewegung einer tropfbaren Flüssigkeit.

§. 113.

Die ruhende Oberfläche einer tropfbaren Flüssigkeit.

Die Beobachtung des Wassers oder einer anderen tropfbaren Flüssigkeit in einem Glase, des Wasserspiegels in einem See oder Teiche lehrt,

daß die Oberfläche jeder tropfbaren Flüssigkeit im Zustande der Ruhe horizontal ist.

Ist durch einen Windstoß irgend eine Erhöhung in der Wasserfläche hervorgebracht, so kann dieselbe nicht für die Dauer bleiben; sondern durch die Schwerkraft wird die emporgetriebene Wassermasse genöthigt, von ihrer Höhe, wie von einer schiefen Ebene, hinabzufließen, bis der Wasserspiegel wieder horizontal wird.

§. 114.

Die Wellenbewegung einer tropfbaren Flüssigkeit.

1. Wird durch irgend eine Ursache, einen Windstoß oder einen hineingeworfenen Stein, in einer ruhenden Wasserfläche eine Vertiefung hervorgebracht, so bildet sich durch die Bewegung des Wassers rings um dieselbe eine kreisförmige Erhöhung, ein Wellenberg; indem dieser wegen seiner Schwere hinabsinkt, entsteht rings um denselben eine kreisförmige Vertiefung, ein Wellenthal, und es bilden sich um denselben Mittelpunkt immer größere kreisförmige Wellen, die nach außen fortschreiten. Dies Fortschreiten der Wassertheilchen ist indessen nur scheinbar; denn wenn man ein Stückchen Holz auf die Wellen eines stehenden Gewässers wirft, so sinkt und steigt das Holz abwechselnd, während Wellenberge und Thäler unter ihm wegzuziehen scheinen. Noch deutlicher läßt sich mittels der Wellenrinne, eines langen Kastens mit Glaswänden, in welchem unter das Wasser Bernsteinstückchen gemischt sind, um die Bewegung der Wassertheilchen leichter sichtbar zu machen, nachweisen, daß **bei der Wellenbewegung die Wassertheilchen auf- und absteigen**, wobei die vom Mittelpunkte der Welle entfernteren Wassertheilchen später, als die ihm näheren, an dieser Bewegung Theil nehmen, daß aber keine fortschreitende Bewegung der Flüssigkeit stattfindet.

2. Interferenz und Beugung der Wellen. Durchkreuzen sich zwei Wellen, die von verschiedenen Mittelpunkten ausgehen, so entsteht durch das Zusammentreffen zweier Wellenberge ein Berg von doppelter Höhe, und durch das Zusammentreffen zweier Thäler ein Wellenthal von doppelter Tiefe; wo aber ein Wellenberg mit einem Wellenthal zusammenfällt und dasselbe ausfüllt, da bildet sich eine ruhende, ebene Fläche. Dies Zusammentreffen zweier Wellen wird von dem englischen Worte to interfere, zusammenstoßen, **die Interferenz der Wellen** genannt.

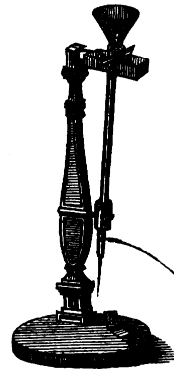
Wenn eine Welle an eine Wand mit einer Oeffnung schlägt, so geht der mittlere Theil der Welle ungehindert hindurch; an den beiden Seiten der Oeffnung aber steigt die daran schlagende Flüssigkeit empor und bildet beim Hinabsinken die Mittelpunkte von zwei neuen Wellen. Diese Erweiterung der ursprünglichen Welle wird die **Beugung** derselben genannt.

b. Der Druck einer tropfbaren Flüssigkeit.

§. 115.

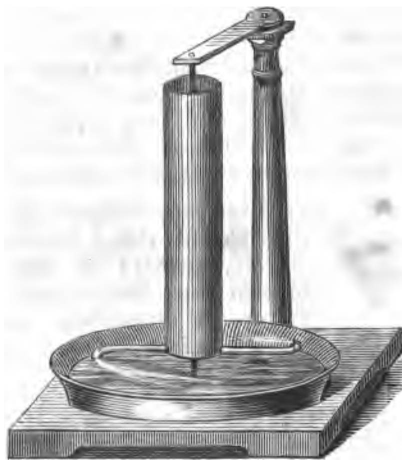
Allseitige Verbreitung des Drucks in einer Flüssigkeit.

Uebt man auf mehrere auf einander geschichtete Lagen Erbsen oder Schrotkörner von obenher einen Druck aus, so bewegt sich ein Theil derselben abwärts und treibt zugleich andere nach allen Seiten aus einander; werden sie von einem Gefäß umschlossen, so wird auch ein Theil der Körner nach oben bewegt. Drückt man gegen einen Sack voll Getreide oder Sand an irgend einer Stelle, so zeigt das Anschwellen desselben an verschiedenen Stellen, daß der Druck sich nach allen Richtungen verbreitet hat. Dasselbe muß noch vollkommener in einer Flüssigkeit der Fall sein, da dieselbe durch leicht verschiebbare Kugeln gebildet wird.


Fig. 89.

Wenn man durch Eintauchen eines festen Körpers in ein Glas Wasser von obenher darauf drückt, so werden einige Wassertheile nach oben gedrückt und steigen. Giebt man einem Gefäß nahe dem unteren Boden eine Seitenöffnung, so nöthigt das Gewicht der oberen Flüssigkeitstheilchen die tiefer gelegenen, nach der Seite auszufließen, und wie der ausfließende Wasserstrahl gegen einen davor gehaltenen Gegenstand drückt, so müssen die Wassertheilchen auf die Seitenwände des Gefäßes drücken, weil diese sie am Zerfließen hindern.

Gesetz: Jede auf eine Flüssigkeit drückende Kraft bewirkt in derselben einen Druck nach allen Seiten.


Fig. 90.

Ein hängendes kleines Gefäß, das unten eine Seitenöffnung hat, bewegt sich, wenn man Wasser eingießt, aus der senkrechten Stellung nach der der Oeffnung gegenüberliegenden Seite. Das Wasser unten im Gefäß würde nach allen Seiten einen gleich großen Druck ausüben; nach der einen Seite fließt es aber aus und bewirkt hier keinen Druck; der einseitige Druck auf die gegenüberliegende Seite bewegt das Gefäß.

Durch den einseitigen Wasserdruck wird das **Segner'sche Wasserrad,** das sich zum Treiben von Maschinen verwenden läßt, in drehende Bewegung gesetzt. Ein cylinderförmiges, oben offenes Gefäß ist so

aufgestellt, daß es sich leicht um seine lothrechte Axe drehen kann; aus seinem unteren Theil führen zwei bis vier Seitenröhren, von denen jede an ihrem Ende verschlossen ist, aber durch eine dem Ende nahe Seitenöffnung dem Wasser gestattet, auszuströmen; diese Seitenöffnungen müssen an allen Röhren nach derselben, etwa nach der linken Seite zu, liegen. Dann drückt das Wasser die Röhren nach der entgegengesetzten Seite hin und dreht sie, wie eine an die Speichen eines Wasserrades greifende Kraft.

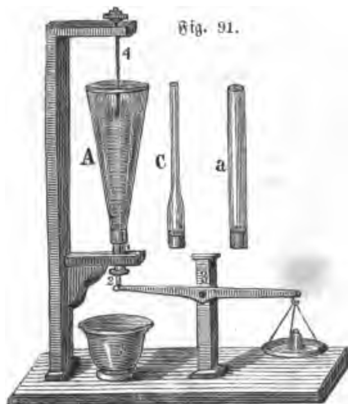
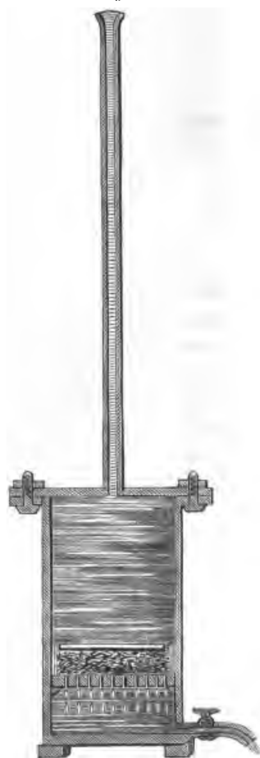


Fig. 91.

§. 116.

Der Druck des Wassers auf den Boden eines Gefäßes.

In einem überall gleich weiten Gefäß mit lothrechten Wänden hat der Boden gerade das ganze Gewicht der Flüssigkeit zu tragen; der 9 Quadratzoll große Boden eines Cylinders von 10 Zoll Höhe erleidet daher, das Gewicht eines Kubikzolles Wassers zu $1^{7}/_{100}$ Loth gerechnet, einen Druck von $9 \times 10 \times 1^{7}/_{100}$ Loth. Die Größe des Wasserdrucks auf den Boden unregelmäßiger Gefäße ist durch die Pascal'schen Vasen ermittelt worden; auf eine lothrecht befestigte kurze Messingröhre Nr. 1 lassen sich Gefäße oder Vasen von den verschiedensten Gestalten, jedoch unten von gleicher Weite, aufschrauben. Die Messingröhre Nr. 1 wird unten durch einen beweglichen Boden verschlossen, durch eine eben geschliffene Metallplatte, welche das eine Ende eines zweiarmigen Hebels aufwärts drückt. Man bezeichnet durch den verschiebbaren Drath Nr. 4 die Höhe der Wassersäule in einer gleichweiten Röhre, welche gerade den beweglichen Boden hinabdrückt und losreißt. Dieselbe Wirkung zeigen die Wassersäulen in sich erweiternden oder verengenden Gefäßen, wenn sie dieselbe Höhe erreichen.


Fig. 92.

Der Druck des Wassers auf den Boden eines Gefäßes richtet sich nicht nach dessen Gestalt, sondern ist stets gleich dem Gewicht einer Wassersäule, welche den Boden zur Grundfläche und die Höhe des Wasserspiegels zur Höhe hat.

Folglich kann durch geringe Wassermengen ein großer Druck ausgeübt werden. Eine wichtige Anwendung hiervon ist die zur Berei-

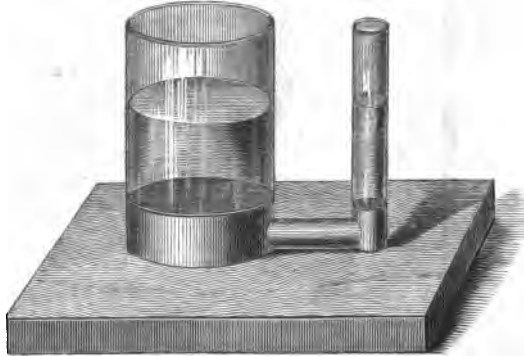
tung von Extracten gebrauchte **Real'sche Extractpresse;** in ein cylinderförmiges Gefäß wird der auszuziehende Stoff zwischen zwei siebartig durchlöcherte Platten gebracht; der Deckel des Gefäßes wird fest aufgeschraubt und die ausziehende Flüssigkeit in die 4 bis 10 Fuß lange Röhre gegossen, die durch den Deckel lothrecht emporsteigt; der ausgezogene Saft läuft unten aus dem Gefäß beim Oeffnen eines Hahnes ab.

§. 117.

Communicirende Röhren oder Gefäße.

Ein in ein Trinkglas geschobenes Brettchen, das an die Seitenwände anschließt, aber nicht ganz bis auf den Boden hinabreicht, theilt das Glas in zwei Gefäße, aus deren einem Wasser unten in das andere gelangen kann; es wird sich in beiden gleich hoch stellen. Eine weite in ein Glas getauchte offene Röhre gestattet der Flüssigkeit in dem Glase ebenfalls den Zutritt; die Wasseroberflächen in Glas und Röhre werden in einer wagerechten Ebene liegen. Dasselbe nehmen wir an einer weiten Glasröhre wahr, die mit einer engeren unten in Verbindung steht. Röhren oder Gefäße, die so mit einander unten verbunden sind, daß eine Flüssigkeit aus der einen in die andere gelangen kann, heißen **communicirende Röhren oder Gefäße.** Wie wir es noch an Gießkannen und Theekannen, an Lampen, an einem in Wasser getauchten Trichter und im Großen an der Erscheinung des Grundwassers in der Nähe von Seen und Flüssen bestätigt finden,

Fig. 93.

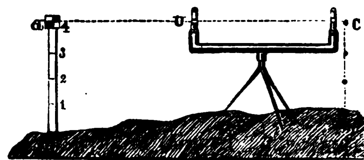


steht eine Flüssigkeit in allen mit einander communicirenden Röhren oder Gefäßen stets gleich hoch.

Die Oberflächen der Flüssigkeit in ihnen liegen stets in einer wagerechten Ebene.

Anwendungen. 1) **Das Nivellirinstrument** oder die Canalwage ist eine 3 Fuß lange, wagerechte Metallröhre, an beiden Enden mit lothrechten Glasröhren; sie wird mit gefärbtem Wasser gefüllt, dessen Oberflächen die wagerechte Richtung angeben, und dient, zu bestimmen, wie viel eine Strecke des Erdbodens von der

Fig. 94.



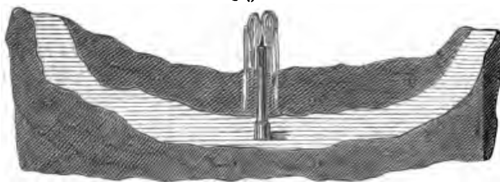
wagerechten Richtung abweicht. Nach der Zeichnung liegt die mit I bezeichnete Stelle 4 Fuß, die mit II bezeichnete 3 Fuß unter der von dem Instrument angegebenen horizontalen Linie; die erste liegt also 1 Fuß tiefer.

Fig. 95.



2) **Wasserleitungen** können von der hochgelegenen Quelle aus durch Thäler und auch über Anhöhen geführt werden, wenn deren höchster Punkt niedriger ist, als die Lage der Quelle. 3) In den **Springbrunnen** kommt das Wasser aus einem hochgelegenen Bassin durch eine Röhrenleitung herab; da die mit ihr communicirende Springröhre weit kürzer ist, so springt das Wasser empor, erreicht aber wegen der Reibung an der Ausflußöffnung, des Widerstandes der Luft und der Schwere des wieder herabfallenden Wassers nicht ganz die Höhe des Bassins. Aus der Fontaine zu Sanssouci steigt ein Wasserstrahl 114, aus der auf der Wilhelmshöhe bei Cassel 150 Fuß empor. Einen Springbrunnen im Kleinen erhält man, wenn man an einen Trichter eine Blechröhre löthen läßt, die zuerst 2 Fuß lothrecht abwärts führt, unten zu einer 6 Zoll langen wagerechten Strecke umbiegt und zuletzt wieder 1 Zoll lothrecht aufsteigt und hier oben mit einer sehr kleinen Oeffnung versehen ist. 4) **Die artesischen Brunnen** sind zuerst in der Grafschaft Artois im nördlichen Frankreich an solchen Stellen häufiger angelegt, wo Steinlager oder die Tiefe des Wasserstandes die Einrichtung eines gewöhnlichen Brunnens überaus kostspielig machen würden. Nur dann erhält man beim Bohren mit dem Bergbohrer einen emporsprudelnden Wasserstrahl, wenn erstlich an hochgelegenen Stellen Wasser in eine Kies- oder Sandschicht eindringt, ferner diese sich bis unter die Bohrstelle fortsetzt und endlich oben und unten von undurchbrochenen Thon-, Lehm- oder Steinschichten eingeschlossen wird. Der 1700 Fuß tiefe artesische Brunnen zu Grenelle bei Paris liefert einen 86 Fuß hoch springenden Wasserstrahl, der 448 Fuß tiefe zu Bruck bei Erlangen kommt ihm fast gleich.

Fig. 96.



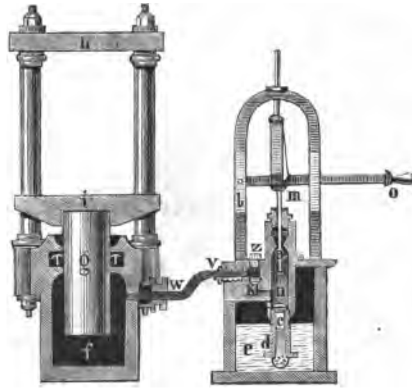
§. 118.

Die hydrostatische Presse und die Wassersäulenmaschine.

Communicirende Röhren lassen sich auch anwenden, um einen großen Druck zu erzielen und Maschinen zu treiben. Sind zwei ungleiche communicirende Röhren oben durch Kolben verschlossen, von denen der

größere eine 12 Mal so große Fläche hat, als der kleinere, so tritt das Gleichgewicht ein, wenn man den größeren Kolben mit 12, den kleineren mit 1 Pfund belastet. Bewegt man den größeren Kolben 1 Zoll abwärts, so steigt der kleinere 12 Zoll. Die kleinere Wassermasse hat eine zwölffache Geschwindigkeit, die größere ist eine 12 Mal so große Last. Um die größere mit einem Druck von 12 Pfund 1 Zoll hoch zu bringen, muß die kleinere Wassersäule unter einem Druck von 1 Pfund 12 Zoll abwärts bewegt werden, so daß die Leistung beider Wassermassen gleich ist.

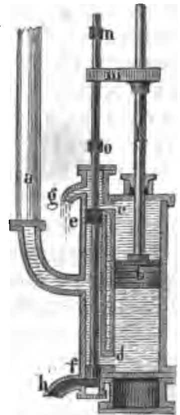
Fig. 97.



Die Haupttheile der **hydrostatischen Presse** oder Bramah'schen Wasserpresse sind eine kleine Druckpumpe mit ihren Ventilen c und k (§. 134, 2) und ein damit communicirender eiserner Cylinder von **viel größerer Weite**, in welchem sich ein Kolben auf und ab bewegen läßt; mittels der kleinen Druckpumpe schafft man Wasser in den Cylinder, übt auf die größere Wassermasse in demselben durch den Kolben der Pumpe einen Druck aus und treibt dadurch den Kolben des Cylinders wenig, aber mit ungemein starkem Druck aufwärts gegen das zu pressende Zeug, Oel oder Papier.

In der **Wassersäulenmaschine** läßt man eine hohe Wassersäule abwechselnd gegen die untere und die obere Fläche eines Kolbens drücken; dadurch wird eine auf- und niedergehende Bewegung des Kolbens hervorgebracht, und diese wird benutzt, um mittels einer Druckpumpe Wasser auf eine bedeutende Höhe zu schaffen. Das Wasser, welches die Maschine treibt, gelangt aus dem Einfallsrohre a nicht unmittelbar in den Treibcylinder cd, in welchem der dicht anschließende Kolben b, der Treibkolben, sich bewegt; sondern es tritt zuerst in einen engeren Cylinder, den Steuerungscylinder ef, von welchem aus das treibende Wasser bald über, bald unter den Treibkolben b gelangt. Der Steuerungscylinder hat zwei Canäle c und d, aus denen das Wasser in den Treibcylinder nahe dem oberen und dem unteren Boden desselben eintreten kann; ferner führen aus dem Steuerungscylinder zwei Abflußröhren g und h für das Wasser, das seine Dienste gethan hat; in dem Steuerungscylinder bewegt sich eine Stange mit zwei fest anschließenden Kolben, den Steuerungskolben e und f.

Fig. 98



In der Zeichnung haben die Steuerungskolben ihre untere Stellung; in derselben versperrt der Kolben e dem aus dem Einfallsrohr kommenden Wasser

den Weg c nach dem obern Theil des Treibcylinders; das frische Wasser tritt durch den Canal d unter den Treibkolben b und bewegt ihn empor, während das über ihm befindliche Wasser durch den Canal c tritt und durch die Röhre g ausfließt. Hat der Treibkolben b seine höchste Stellung erreicht, so werden beide Steuerungskolben emporgezogen; sie stehen dann über den Canälen c und d; das frische Wasser tritt durch c über den Treibkolben und drückt ihn hinab, während das verbrauchte Wasser aus dem unteren Theil des Treibcylinders durch den Canal d und die Röhre h abfließt. Den Steuerungskolben giebt die Maschine selbst die zweckmäßige Stellung. Die Stange k des Treibkolbens hat nämlich einen wagerechten Querarm m; derselbe hat eine so weite Bohrung, daß sie die Stange der Steuerungskolben ohne Reibung durchläßt, aber nicht die beiden Verstärkungen n und o dieser Stange. Ist daher der Treibkolben seiner höchsten Stellung nahe, so drückt der Querarm m gegen die obere Verstärkung n der Steuerungsstange und zieht sie empor; das frische Wasser tritt über den Treibkolben und drückt ihn hinab; ist er seiner niedrigsten Stellung nahe, so bewegt der Querarm m die untere Verstärkung o der Steuerungsstange hinab und giebt den Steuerungskolben eine so tiefe Stellung, daß das frische Wasser unter den Treibkolben gelangt. Mittels der beschriebenen Vorrichtungen, welche die Steuerung bilden, leitet die Wassersäulenmaschine selbst sowohl das wirkende Wasser abwechselnd gegen die untere und die obere Fläche des Treibkolbens, als sie auch dem Wasser, das seine Wirkung gethan hat, einen Weg zum Ausfließen öffnet.

§. 119.

Die Höhe des Wassers in Capillarröhren.

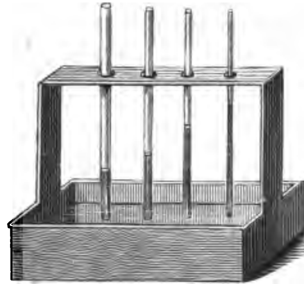
Abweichungen von dem Gesetz über commmunicirende Gefäße treten ein, wenn die Kraft der Adhäsion wirksam ist.

1. Schon das Ansetzen von Staub an andere Körper, von Ruß an die Wände des Schornsteins, das Aneinanderhängen zusammengedrückter Gummistücke, das Abfärben der Wände, das Aneinanderhaften von eben geschliffenen, auf einander gelegten Metallplatten (Adhäsionsplatten) beweisen, daß Körper, deren Oberflächen sich berühren, durch eine anziehende Kraft an einander festgehalten werden; diese Kraft, welche **Adhäsion** genannt wird, wirkt besonders stark zwischen einem flüssigen und einem festen Körper. Thautropfen hängen sich an die Gewächse, und das Wasser läuft beim Ausgießen oft an der Außenwand des Glases hinab; jedes Naßwerden ist eine Adhäsionserscheinung; von den Seitenwänden angezogen, steht das Wasser am Rande eines Gefäßes oder um ein Stäbchen höher; benetzte Brettchen haften merklich an einander.

Anwendungen von der gegenseitigen Adhäsion fester Körper sind das Plattiren, das Aneinanderschweißen zweier Eisenstücke, das Zeichnen mit Bleistift, das Schreiben mit Kreide. Das Haften flüssiger Körper an festen benutzen wir beim Schreiben mit Tinte, beim Malen und Anstreichen, beim Verzinnen des Eisenblechs, beim Gebrauch des Leims, Mörtels, Siegellacks, Stärkekleisters, beim Löthen und Vergolden.

2. Wegen der Adhäsion steht das Wasser an den Wänden eines reinen Gefäßes stets etwas höher, als in der Mitte. Taucht man eine enge Röhre, etwa nur von der Weite eines Haars, ein Haar- oder Capillarröhrchen, in Wasser, so daß es mit demselben communicirt, so steht die Flüssigkeit in der Röhre höher, als in dem größeren Gefäße. In dem engen Röhrchen reicht die Anziehungskraft der einen Wand der der gegenüberliegenden gleichsam die Hand, und mit vereinter Kraft ziehen sie das Wasser, in welches das untere Ende der Röhre getaucht ist, desto höher, je enger die Röhre ist, gleichviel aus welchem Stoffe sie besteht. Diese Art der Adhäsion wird daher **Haarröhrchenanziehung** oder **Capillarität** genannt. Alle Körper mit feinen Poren oder Zwischenräumen zeigen dieselbe Wirkung; ein nur etwas in Kaffee getauchtes Stück Zucker wird davon bald ganz durchzogen; ein Tropfen Tinte wird vom Löschpapier eingesogen; Oel steigt in den Lampendochten empor; Mauern aus zu lockern Steinen bleiben immer feucht; Tücher nehmen beim Abtrocknen nasser Gegenstände die Feuchtigkeit auf.

Fig. 99.



3. In manchen Körpern zeigt sich die Kraft der Capillarität so groß, daß sie immer mehr Wasser zwischen ihre Theile zieht und dadurch die Körper ausdehnt. Feucht aufgespanntes Zeichenpapier ist ausgedehnt und zieht sich beim Trocknen zusammen; Thüren und Fenster quellen bei Regenwetter; Steine werden durch Keile gesprengt, indem man dieselben begießt; Stricke und wollene Stoffe werden durch Benetzen der Breite nach ausgedehnt, ziehen sich darum der Länge nach zusammen, werden kürzer und laufen ein.

---

c. Der Druck eingetauchter Körper.

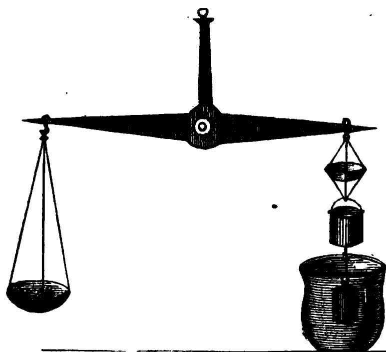
§. 120.

Der Gewichtsverlust eingetauchter Körper.

In Wasser eingetauchte Körper werden zum Theil von demselben getragen; der Eimer eines Ziehbrunnens läßt sich sehr leicht emporziehen, solange er sich im Wasser befindet, und überrascht durch sein Gewicht, sobald er über das Wasser emporgehoben wird; Fischer, die einen sehr reichen Fang gethan und das Netz mit den Fischen im Wasser sorglos weiter bewegt haben, gehen beim Emporziehen desselben aus dem Wasser höchst vorsichtig damit um, weil nun das Netz das ganze Gewicht zu tragen hat. Bei Wasserbauten bewegen die Arbeiter mit Leichtigkeit unter Wasser große Steine. Taucht man irgend einen Körper unter, so verdrängt er das Wasser aus dem Raume, den er einnimmt; die verdrängte Wasser-

masse wurde von dem übrigen Wasser getragen; ist der eingetauchte Körper genau ebenso schwer, so wird er von der Flüssigkeit ebenfalls gerade getragen und schwebt in ihr an jeder Stelle; ist er schwerer, so sinkt er, obwohl ihn das Wasser mit derselben Kraft zu heben sucht, mit der es das verdrängte Wasser trug; ist er leichter, so wird er in die Höhe getrieben. — Dies beweist auch der **Versuch mit dem hohlen und dem massiven Metallcylinder;** man hängt an die eine Schale einer Wage, die man durch Einbinden der Schnüre kürzer, als die andere, gemacht hat, einen hohlen Metallcylinder und unten an diesen einen massiven Cylinder von der Größe, daß er genau den hohlen Cylinder ausfüllen würde, und stellt durch Gewichte, die man in die längere Wageschale legt, das Gleichgewicht her; schiebt man nun unter den massiven Cylinder ein Glas Wasser, in welches er ganz eintaucht, so sucht ihn das Wasser emporzuheben mit derselben Kraft, mit welcher es die von ihm verdrängte Wassermasse trug, und die längere Wageschale erhält das Uebergewicht; da aber der über dem massiven hängende hohle Cylinder genau so viel Wasser faßt, als jener verdrängt, so gießt man diesen voll Wasser, und sogleich ist das Gleichgewicht vollkommen hergestellt. Auch für jede andere Flüssigkeit gilt das **Gesetz des Archimedes:**

Fig. 100.



Von dem Gewicht eines jeden in eine Flüssigkeit eingetauchten Körpers trägt dieselbe so viel, als eine gleich große Menge dieser Flüssigkeit wiegt.

Der Gewichtsverlust eines Körpers im Wasser ist stets gleich dem Gewicht einer gleich großen Wassermenge.

§. 121.

Die Bestimmung der Dichte oder des specifischen Gewichts.

I. Das specifische Gewicht.

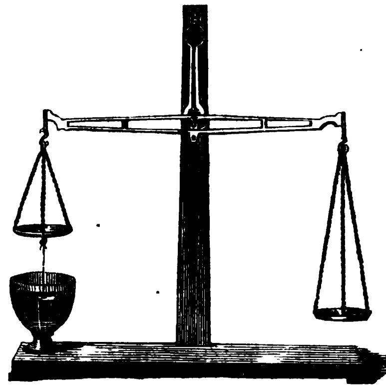
Das Gewicht eines Körpers auf der Wage heißt sein absolutes Gewicht. Legt man in die eine Schale einer Wage einen Würfel aus Holz von der Größe eines Kubikzolles und in die andere einen eben so großen Würfel von Eisen, so zeigt sich das Eisen schwerer, als ein gleich großes Stück Holz; Eisen ist specifisch schwerer, als Holz, d. h., es gehört zu den eigenthümlichen Merkmalen des Eisens, daß es mehr wiegt, als ein gleich großes Stück Holz. Dies kann nur darin seinen Grund haben, daß die Theile des Eisens dichter neben einander liegen, während die Theile des Holzes durch größere Zwischenräume von einander getrennt sind. Man ist

übereingekommen, das Gewicht eines jeden Stoffes mit dem des Wassers als des am meisten verbreiteten Körpers zu vergleichen; **das specifische Gewicht oder die Dichte ist die unbenannte Zahl, welche angiebt, wie viel Mal so schwer ein Körper ist, als eine gleich große Wassermasse.** Das specifische Gewicht des Tannenholzes ist ½, heißt also: Ein Stück Tannenholz wiegt halb so viel, als eine Wassermasse von derselben Größe.

II. Die Bestimmung des specifischen Gewichts.

a. Mit der Wage. Die zur Bestimmung des specifischen Gewichts angewandte Wage unterscheidet sich von der gewöhnlichen dadurch, daß sie sehr genau gearbeitet ist, und daß die eine Schale an kürzeren Schnüren hängt und unten mit einem Häkchen versehen ist. **Feste** Körper wiegt man zuerst in der Luft, indem man sie in die kürzere Schale legt; dann in Wasser, indem man sie mittels eines Haares oder Drathes an dieselbe hängt; der Unterschied beider Gewichte (oder das Gewicht, das man nun in die kürzere Wageschale legen muß, um dem Gewicht in der längeren das Gleichgewicht zu halten) ist der Gewichtsverlust des Körpers oder das Gleichgewicht einer gleich großen Wassermasse. Ein Stück Zinn wiege in der Luft 14 Loth; es verliert im Wasser 2 Loth; dann ist 2 Loth das Gewicht einer dem Zinn gleichen Wassermasse; und das specifische Gewicht des Zinns ist 14, wenn das des Wassers 2 ist, also 7, da das des Wassers immer gleich 1 angenommen wird. Ist der feste Körper leichter, als Wasser, so muß man ihn beim Untertauchen an einen schwereren befestigen. Wird zwischen jenes Stück Zinn ein Stück Holz von 1 Loth Gewicht geklemmt, so wird ihr gemeinsamer Gewichtsverlust 4 Loth betragen; 2 Loth machen den Gewichtsverlust des Zinns aus, der Rest von 2 Loth also den des Holzes; folglich ist das specifische Gewicht des (Tannen-) Holzes = $1/_2$.

Fig. 101.



Das specifische Gewicht einer **Flüssigkeit** findet man durch die Wage, indem man zuerst das Gewicht einer schweren Glaskugel, dann ihren Gewichtsverlust in Wasser (also das Gewicht der Wassermenge), drittens ihren Gewichtsverlust in der zu untersuchenden Flüssigkeit (also das Gewicht einer gleichen Menge dieser Flüssigkeit) bestimmt. Auch durch unmittelbares Abwägen läßt sich die Dichte einer Flüssigkeit ermitteln; man stellt in die eine Schale der Wage ein leeres Gläschen und legt in die andere so viel Schrotkörner, bis das Gleichgewicht hergestellt ist; darauf gießt man zuerst Wasser in das Glas und bestimmt sein Gewicht, gießt es aus, füllt die andere Flüssigkeit ein und sucht deren Gewicht. Wiegt das Wasser 5 Quentchen, so würde die Dichte des Spiritus $1/_5$ sein, wenn eine dem Wasser

gleiche Menge davon nur 1 Quentchen wöge; da sie sich aber 4 Quentchen schwer zeigt, ist die Dichte des Spiritus $^4/_5$.

Fig. 102.



b. **Mit der Nicholson'schen Senkwage.** Die Nicholson'sche Senkwage besteht aus einem hohlen, aufrecht schwimmenden Cylinder von Blech, der zur Hälfte in Wasser eintaucht, oben mittels eines Drathes eine kleine Schale, unten ein mit Blei ausgegossenes Körbchen trägt. Den zu untersuchenden Körper, z. B. einen Edelstein, legt man oben auf die Schale und fügt zu ihm noch Schrotkörner, bis das Instrument bis zu einem an dem Drathe markirten Striche einsinkt; nimmt man den Edelstein fort und legt statt seiner Gewichte auf die Schale, bis die Senkwage wieder so tief steht, so geben diese Gewichte das absolute Gewicht des Steins an. Nimmt man aber diese Gewichte fort und legt den Edelstein unten in das Körbchen im Wasser, so wird man auf die Schale einige neue Gewichte legen müssen, bis das Instrument tief genug einsinkt; diese Gewichte bezeichnen das Gewicht einer dem Stein gleich großen Wassermasse.

III. Wichtigkeit des specifischen Gewichts.

Das specifische Gewicht ist für jeden Stoff unveränderlich und ist ein Kennzeichen für die Aechtheit und Reinheit eines Stoffes. Findet sich das specifische Gewicht zu groß, so ist der Stoff mit schwereren Stoffen versetzt; findet es sich zu klein, so ist er mit leichteren Stoffen vermischt. Platina hat ungefähr ein specifisches Gewicht von 22, Gold 19, Quecksilber 13½, Blei 11½, Silber 10½, Kupfer 9, Eis $^9/_{10}$, Tannenholz ½, Kork ¼, reiner Spiritus $^4/_5$ und Baumöl $^9/_{10}$.

§. 122.

Das Schwimmen.

Ein Körper schwimmt auf einer Flüssigkeit, sobald er leichter ist, als eine gleich große Menge der Flüssigkeit. Er taucht so tief ein, bis das Gewicht der von ihm verdrängten Wassermenge seinem Gewicht gleichkommt. Er schwimmt also, 1) wenn er ein kleineres specifisches Gewicht hat; darum schwimmt Oel auf dem Wasser, und Luftblasen nehmen in einem mit Wasser gefüllten Gefäß stets die höchste Stelle ein. Schwimmende Körper können aber auch ein größeres specifisches Gewicht haben, wenn sie nur 2) wegen ihrer Gestalt eine mehr wiegende Masse der Flüssigkeit verdrängen, wie dies bei zugekorkten Glasflaschen, leeren auf Wasser gestellten Trinkgläsern, hohlen Metallkugeln, beim Heben gesunkener Lasten durch leere Fässer und bei kupfernen Kähnen der Fall ist.

Die cartesianischen Taucher sind hohle Figuren von Glas, fast eben so schwer, als eine gleiche Wassermenge, und an einer Stelle mit einer Oeffnung versehen; sie werden in ein mit Wasser gefülltes Glas gethan und

ein Stück Gummi darüber gebunden; drückt man auf dasselbe, so dringt Wasser in den Taucher und zieht ihn durch seine Schwere hinab; hört der Druck auf, so treibt die zusammengedrückte Luft das eingedrungene Wasser aus der Figur, und sie steigt wieder in die Höhe. Fische steigen an die Oberfläche, indem sie ihre Schwimmblase ausdehnen und dadurch mehr Wasser verdrängen, als ihr Gewicht beträgt, und senken sich, indem sie dieselbe zusammenziehen. Das specifische Gewicht des Menschen ist wenig kleiner, als das des Wassers; Mund und Nase müssen sich über dem Wasser befinden; deshalb müssen Nichtschwimmer, wenn sie ins Wasser fallen, die Arme unter Wasser behalten und, um eine hinreichende Wassermenge zu verdrängen, den Athem anhalten. Das künstliche Schwimmen besteht in geeignet gegen das Wasser ausgeführten Stößen. Die Stellung des schwimmenden Körpers ist desto sicherer, je tiefer sein Schwerpunkt liegt und je breiter das eingetauchte Stück desselben ist.

§. 123.

Die Aräometer.

Wie die Seeschiffe in dem süßen Wasser eines Flusses tiefer einsinken, als in dem schweren Wasser des Meeres, so muß überhaupt ein und derselbe schwimmende Körper in einer **leichteren** Flüssigkeit, die weniger tragen kann, tiefer einsinken, als in einer **schwereren** oder dichteren, deren Tragkraft größer ist. Aus der Tiefe, bis zu welcher der schwimmende Körper einsinkt, läßt sich daher auf die Dichte der Flüssigkeit schließen. Man gebraucht dazu ein **Aräometer** (Dichtemesser), eine dünne Glasröhre, die sich unten zu zwei Kugeln erweitert, einer größeren leeren, damit sie schwimme, und einer mit Schrot gefüllten, damit sie in aufrechter Stellung schwimme. Reiner Spiritus ist leichter, als eine Mischung von Spiritus und Wasser, wie sie im Handel unter dem Namen von Spiritus oder von Branntwein vorkommt; diese Mischung aber ist wieder noch leichter, als Wasser. Ist also ein Aräometer bestimmt, die Güte des Spiritus zu prüfen, so taucht man es zuerst in reines Wasser und bezeichnet den Punkt, bis zu dem es einsinkt, an der Glasröhre mit der Zahl 0; hierauf taucht man das Instrument in eine Mischung von 95 Theilen Wasser und 5 Theilen reinen Spiritus und bezeichnet den Punkt an der Röhre mit 5, da die Mischung jetzt unter 100 Theilen der Flüssigkeit 5 Theile Spiritus oder 5 Procent Spiritus enthält. Eben so senkt man das Aräometer in Mischungen, die 10, 15, 20 und so fort bis 100 Procent Spiritus enthalten, und schreibt diese Procentzahlen an den Punkt der Glasröhre, bis zu dem sie in jeder Mischung einsinkt; gewöhnlich wird diese Procentscala auf einen Papierstreifen getragen und im Innern der Glasröhre befestigt. Will man nun die Güte des zu kaufenden Spiritus untersuchen, so giebt die Zahl, bis zu der das Aräometer darin eintaucht, unmittelbar die Procente des Spiritus an. In ähnlicher Weise werden Aräometer für

Fig. 103



Salzsolen (Salzspindeln) und Zuckerlösungen (Sacharometer) angefertigt.

D. **Wirkungen der Schwerkraft auf luftförmige Körper.**

§. 124.

Die gegenseitige Abstoßung der Theile eines luftförmigen Körpers.

Die luftförmigen Körper unterscheiden sich von den festen und tropfbarflüssigen auf eine auffallende Weise. Die Theile tropfbarer Flüssigkeiten haben eine Art von Zusammenhang, obwohl ihnen große Freiheit bleibt, sich zu verschieben und an einander vorbei zu fließen. Aber **die Theile eines luftförmigen Körpers** haben untereinander gar keinen Zusammenhang, sondern **stoßen sich gegenseitig ab und suchen sich nach allen Seiten hin von einander zu entfernen**, soweit äußere Hindernisse es gestatten. Um dies darzuthun, nahm Otto von Guerike, Bürgermeister zu Magdeburg, aus einem Thale eine leere, nur gewöhnliche atmosphärische Luft enthaltende Flasche, die mittels eines Hahnes verschlossen war, mit auf den Gipfel eines Berges, und als er hier den Hahn öffnete, strömte die Luft, da durch die dünnere Luft auf dem Berge ihre Ausdehnung weniger gehindert ward, zum Theil aus der Flasche mit hörbarem Zischen. Legt man unter die Glocke einer Luftpumpe einen zusammengedrückten und nur noch wenig Luft enthaltenden kleinen Ballon, den man fest zugebunden hat, so dehnt die in ihm befindliche Luft ihn immer mehr aus, je mehr Luft aus der Glocke ausgepumpt wird; die den Ballon umgebende Luft hatte ein eben so großes Bestreben, sich auszudehnen, und hinderte die in ihm eingeschlossene Luft daran; dies Hinderniß ward entfernt, indem aus der Glocke Luft ausgepumpt wurde. Das Bestreben der Luft, sich immer mehr auszudehnen, nennt man ihre **Spannkraft** oder **Elasticität**, und dies Bestreben zeigt die Luft nicht bloß, wie eine Springfeder, wenn sie zusammengedrückt oder verdichtet ist, sondern immer, auch wenn sie noch so sehr verdünnt ist.

Die Erscheinungen der luftförmigen Körper sind doppelter Art; entweder verdichtet man die Luft und vermehrt dadurch ihre Elasticität so, daß sie schwere Körper forttreibt oder einen starken, durch die Schwere hervorgebrachten Druck überwindet, oder man verdünnt die Luft in irgend einem Raume so, daß gegen ihn durch die Schwerkraft ein bedeutender Druck der atmosphärischen Luft hervorgebracht wird.

---

a. Die Spannkraft verdichteter Luft.

§. 125.
Das Mariottesche Gesetz.

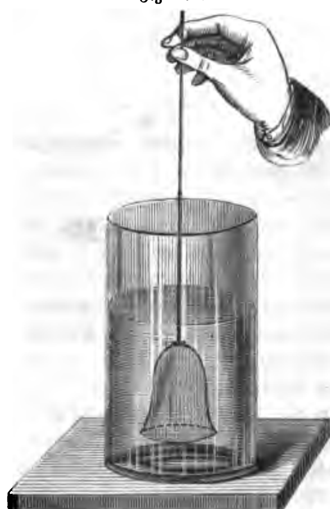
Bläst man in einen **Ballon** von dünnem Gummi so viel Luft, daß er völlig ausgedehnt ist, und bindet man ihn dann fest zu, so läßt er sich wohl breit drücken, erhält aber durch die Spannkraft der eingeschlossenen, verdichteten Luft sogleich seine frühere Gestalt wieder, sobald der Druck der Hand aufhört, und stets desto schneller, je mehr man ihn zusammengedrückt hat. In eine unten luftdicht verschlossene **Röhre** läßt sich ein genau schließender Kolben hinabdrücken, springt aber bei aufhörendem Druck sofort wieder empor; den Kolben ganz hinabzudrücken, macht der Widerstand der zusammengepreßten Luft unmöglich. Bei der als Spielzeug bekannten **Knallbüchse** wird Luft in eine Röhre, zwischen zwei Pfropfen, eingeschlossen, durch das Fortschieben des einen immer mehr zusammengepreßt und erlangt endlich durch die zunehmende Verdichtung hinreichende Kraft, um den andern Pfropfen hinauszuschleudern. In demselben Maße, wie die Luft zusammengedrückt wird, wächst ihr Bestreben, sich wieder auszudehnen, und der Druck, den sie auf die Wände eines Behälters ausübt. Je mehr Luft in ein **Blaserohr** hineingeblasen, je mehr also die Luft darin verdichtet wird, desto weiter vermag die Spannkraft derselben den Pfeil fortzutreiben. Ueberhaupt gilt das

Mariottesche Gesetz: Je mehr die Luft zusammengedrückt wird, desto größer wird ihre Spannkraft.

Eine auf die Hälfte ihres früheren Raumes zusammengedrückte Luftmasse hat doppelte Dichte und doppelte Spannkraft. Erfüllt sie nur $1/3$ ihres früheren Raumes, so ist auch die zusammendrückende Kraft drei Mal so groß.

§. 126.
Die Taucherglocke.

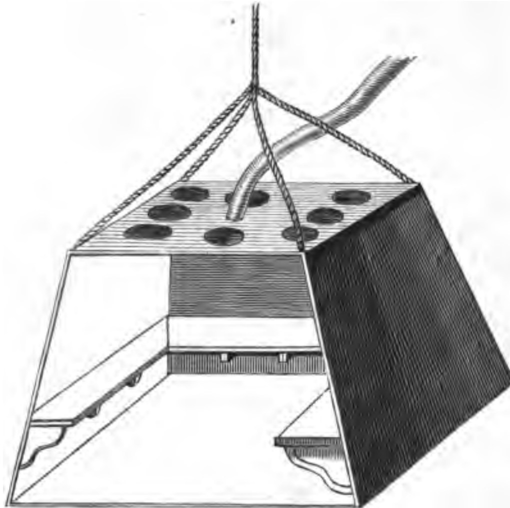
Fig. 104.



Wenn man in ein tiefes, mit Wasser gefülltes Glas ein umgekehrtes Trinkglas taucht, so wird durch die unten befindliche Oeffnung etwas Wasser in das Glas eindringen. Drückt man das in lothrechter Stellung gehaltene Glas weiter hinab, so wird zwar die eindringende Flüssigkeit steigen, aber zugleich die über ihr in dem Glase enthaltene Luft zusammenpressen und deren Spannkraft so vermehren, daß sie dem ferneren Eindringen des Wassers einen größeren Widerstand entgegenstellt. Wie tief man auch das Glas eintauchen mag, nie wird die Spannkraft der Luft dem Wasser gestatten, bis in seinen obern Theil einzudringen.

In ähnlicher Weise beruht die **Taucherglocke** auf der Elasticität zusammengedrückter Luft. Obwohl sie schon früher bekannt war, ist ihre Anwendung erst häufiger geworden, nachdem es im Jahre 1716 dem Engländer Edmund Halley gelungen war, mit Hülfe einer nach seinen Angaben gefertigten Taucherglocke die Schätze eines untergegangenen englischen Schiffes wieder ans Tageslicht zu fördern. Sie hatte die Gestalt einer großen Thurmglocke, war unten offen, an den Seitenwänden und an der Decke mit Blei überzogen und, damit sie bis auf den Grund des Meeres hinabsank, unten mit Gewichten belastet. Ihr Licht erhielt sie durch ein großes, starkes Glas, das in die Decke eingesetzt war; an die Seitenwände im Innern der Glocke waren kleine Bänke für die Hinabtauchenden befestigt. Die ganze Vorrichtung hängt mittels einer starken Kette an einem Gerüst und wird mit Hülfe von Winden und Rollen auf den Grund des Meeres hinabgelassen und wieder emporgezogen.

Fig. 105.



Die neueren Taucherglocken haben die Gestalt eines 6 Fuß langen, nicht ganz so breiten Kastens; sie sind aus Gußeisen und haben oben starke Glasfenster. Da die Luft in der Glocke durch das Athmen ihres Sauerstoffs nach und nach beraubt und so allmählich zum Einathmen untauglich wird, sorgt man für den Zufluß unverdorbener Luft, indem man in dem obern Theil der Taucherglocke die Oeffnung eines luftdichten ledernen Schlauches anbringt, der bis zu einem Boote hinaufreicht. Durch eine Verdichtungspumpe (§. 127) pumpt die Mannschaft des Bootes Luft in den Schlauch; diese gelangt in die Glocke und kann, weil die untere Oeffnung des Schlauches mit einer sich nur nach unten öffnenden Klappe verschlossen ist, aus der Glocke nicht wieder emporsteigen. Durch Hammerschläge oder beschriebene Holztäfelchen, die bis zur Wasseroberfläche emporsteigen, giebt man von der Taucherglocke aus Signale zum Heben oder Senken derselben.

§. 127.

Die Verdichtungspumpe und die Windbüchse.

1. Um die Luft in einem bedeutenden Grade zu verdichten, bedient man sich der **Verdichtungs- oder Compressionspumpe.** Ein starker metallener Cylinder, in welchem sich ein genau anschließender Kolben auf und ab bewegen läßt, ist unten mit einem Ventil versehen, das sich nur nach außen öffnet, und hat oben eine Seitenöffnung, in welche Luft einströmen kann; das untere Ende des Cylinders ist mit einem Schraubengange versehen, um den Recipienten, den Behälter, in welchem die Luft verdichtet werden soll, anzuschrauben. Wird der Kolben niedergedrückt, so wird die Luft durch das Ventil hindurch in den Recipienten gepreßt; zieht man den Kolben wieder empor, so schließt die Spannkraft der verdichteten Luft das Ventil und versperrt sich selber den Ausweg; durch die Seitenöffnung des Cylinders strömt von außen in ihn wieder Luft, die durch das Niederdrücken des Kolbens abermals in den Recipienten gepreßt wird; durch fortgesetzte Bewegung des Kolbens wird daher die Luft in dem Recipienten immer mehr verdichtet.

Fig. 106.



2. Die Verdichtungspumpe wird angewandt als Zubehör einer Taucherglocke und zum Laden einer **Windbüchse.** Die Gestalt einer Windbüchse ist nicht auffallend von der einer gewöhnlichen Flinte verschieden. Bei ihrer gewöhnlichsten Einrichtung läßt sich der Flintenkolben von dem Flintenlauf abschrauben, ist hohl und enthält ein starkes Metallgefäß, den Recipienten oder die Windkammer, in welchem mit Hülfe einer angeschraubten Verdichtungspumpe die Luft verdichtet wird. Durch ihre Spannkraft schließt diese das Ventil der Windkammer, das sich nur nach innen öffnet. Nach dem Abschrauben der Verdichtungspumpe wird der Kolben mit der verdichteten Luft wieder an den Lauf der Büchse geschraubt, und eine Kugel in den Lauf, gerade vor die Oeffnung des Ventils, gelegt. Das Schloß der Windbüchse ist so eingerichtet, daß durch Losdrücken des Hahns das Ventil der Windkammer auf einen Augenblick geöffnet wird; ein Theil der verdichteten Luft strömt aus derselben in den Büchsenlauf und treibt die Kugel mit großer Geschwindigkeit fort. Man kann daher aus einer Windbüchse, ohne die Luft in der Windkammer von Neuem zu verdichten, mehrere Schüsse thun.

§. 128.

Heronsball und Heronsbrunnen.

1. Der **Heronsball** ist eine Erfindung des griechischen Mechanikers Heron, der um das Jahr 100 vor Christo zu Alexandria gestorben ist.


Fig. 107.

Man nimmt eine Glaskugel oder eine Arzneiflasche und füllt sie zur Hälfte mit Wasser; ein genau darauf passender Kork wird durchbohrt und eine die Bohrung gerade ausfüllende Röhre hindurchgeschoben, etwa eine Glasröhre, die oben zu einer feinen Spitze ausgezogen ist, oder ein Stück einer Thonpfeife, auf welches man oben eine Lage Siegellack gebracht und mit einer Nadel durchbohrt hat; jedenfalls muß die Röhre fast bis auf den unteren Boden des Gefäßes hinabreichen. Bläst man in dieselbe hinein, oder drückt man den Kork weiter hinein und verdichtet so die in dem Gefäße befindliche Luft, so wird durch die Elasticität derselben das Wasser genöthigt, durch die Röhre in einem nur einen Augenblick währenden Strahle in die Höhe zu springen.


Fig. 108.

2. Der **Heronsbrunnen** ist ein Heronsball, in welchem die Luft durch den Druck des Wassers zusammengepreßt wird. Die Haupttheile des Heronsbrunnens sind zwei verschlossene, gewöhnlich aus Metall gearbeitete Gefäße, von denen das eine einige Fuß über dem andern steht, oben ein Becken trägt und sonst ganz die Einrichtung des Heronsballes hat. Beide Gefäße communiciren durch eine Röhre, die wenig in das untere Gefäß hinab, aber weit in das obere Gefäß hinaufreicht; und das Becken communicirt mit dem untern Gefäß durch eine Röhre, die fast bis auf den Boden desselben hinabreicht. Man füllt das obere Gefäß durch eine Seitenöffnung etwa drei Viertel voll Wasser und verschließt es; darauf gießt man in das Becken Wasser, welches durch die Röhre in das untere Gefäß fließen wird. Dadurch wird die Luft in demselben zusammengepreßt, steigt durch die zweite Röhre in das obere Gefäß und zwingt durch ihre Spannkraft das Wasser in demselben, aus der Springröhre emporzuspringen. Alles Wasser, das die Springröhre liefert, fällt ins Becken, fließt ins untere Gefäß und bewirkt so lange ein fortgesetztes Springen, als noch Wasser in dem oberen Gefäß enthalten ist.

b. Der Druck der atmosphärischen Luft.

§. 129.

Die Schwere der Luft.

Da jeder luftförmige Körper sich immer mehr auszudehnen strebt, und da die durch die Axendrehung der Erde entstehende Centrifugalkraft alle Körper von ihrem Mittelpunkte hinwegzutreiben sucht, so würde die Luftmasse, welche die Erdkugel umgiebt, immer dünner werden, sich immer mehr in den Weltraum verlieren und von der Erde entfernen, wenn nicht die Schwerkraft sie zurückhielte und an die Erde fesselte. **Die Schwere der Luft läßt sich beweisen, indem man sie wägt;** man macht eine etwas große Glaskugel, die mit einem Hahn versehen ist, mittels einer Luftpumpe luftleer und wiegt sie; darauf öffnet man den Hahn, es strömt Luft in die Glaskugel, und sie zeigt sich schwerer wegen des Gewichts der in ihr enthaltenen Luft. So hat man gefunden, daß die Schwere der Luft 770 Mal geringer ist, als die des Wassers. Auf ähnlichem Wege findet man das specifische Gewicht anderer luftförmiger Körper; man giebt bei ihnen an, wieviel Mal so schwer sie sind, als die atmosphärische Luft.

§. 130.

Der Druck der Luft nach allen Richtungen.

1. Wegen ihrer Schwere muß die Luft einen Druck nach unten ausüben. Um denselben wahrzunehmen, gießt man in eine unten verschlossene Glasröhre, einen Probircylinder, etwas Baumöl, schiebt langsam bis in dasselbe einen Kolben, den man sich durch Umwickeln eines Stäbchens mit Werg hergestellt hat, und gießt noch auf den Kolben etwas Oel, das ihn luftdicht macht. Zieht man nun im Freien den Kolben empor, so entsteht unter ihm ein luftleerer Raum, und der Druck der auf ihm lastenden Luftsäule, die bis an die Grenzen der Atmosphäre, also etwa 10 Meilen hoch, reicht, bewegt den Kolben mit merklicher Kraft abwärts.

Fig. 109.



2. Wiederholt man diesen Versuch im Zimmer, so ist der Erfolg derselbe. Zieht man den Probircylinder hinab, so wird er nach oben bewegt; folglich wirkt der Luftdruck auch nach oben. Hält man den Cylinder wagerecht und zieht den Kolben nach rechts, so wird er durch den Luftdruck nach links bewegt. Man kann dem Cylinder jede beliebige Stellung geben; es zeigt sich,

daß der Luftdruck nach allen Richtungen wirksam ist.

3. Das Gewicht der oberen Luftschichten lastet auf den niedrigeren und drückt sie zusammen. Die unteren Luftschichten sind daher dichter, als die oberen, wie es die beim Besteigen von Bergen und beim Aufsteigen in Luftballons gemachten Erfahrungen bestätigen. Die unterste Luftschicht, in der wir leben, hat darum unter allen die größte Spannkraft, so groß, wie das Gewicht der darüber befindlichen Atmosphäre, die von ihr getragen wird. Von oben her gedrängt, dringen die Lufttheilchen nach allen Rich-

tungen, erfüllen das Zimmer, bis dessen Luft dieselbe Dichte und Spannkraft zeigt, und drücken gegen jeden luftleeren oder luftverdünnten Raum. Folglich ist der atmosphärische Luftdruck entweder eine Wirkung von der Schwere der Luft selbst, oder von ihrer durch die Schwere der höheren Luftschichten hervorgebrachten Spannkraft.

§. 131.
Erscheinungen des Luftdrucks.

1. **Vom Luftdruck getragene Wassersäulen.** Eine an beiden Enden offene Glasröhre wird mit dem einen Ende in ein Gefäß mit Wasser getaucht, es stellt sich in ihr das Wasser so hoch, wie es in dem Gefäß steht; verschließt man nun die obere Oeffnung mit dem Finger und hebt die Röhre aus dem Wasser, so dehnt sich die Luft in derselben etwas aus; das Wasser aber fällt aus ihr nicht heraus, sondern wird durch den Druck der atmosphärischen Luft getragen. Läßt man den Finger los, so dringt die Luft von oben her in den luftverdünnten Raum, und alles Wasser fließt wegen seiner Schwere aus der Röhre. Füllt man die Röhre ganz mit Wasser, so fließt, wenn man sie oben zuhält, wieder kein Wasser aus derselben, weil die Luft aufwärts gegen die Oeffnung drückt, ohne daß Luft im Innern der Röhre ihr Widerstand leistete. Ein in einer Wanne mit Wasser gefülltes Trinkglas läßt sich mit abwärts gekehrter Oeffnung beinahe bis an diese aus der umgebenden Wassermasse herausheben, ohne daß das Wasser im Glase sinkt; das Glas und die Wanne bilden communicirende Gefäße, in dem Glase wirkt der Druck des Wassers, in der Wanne der Druck der obersten Wasserschicht und einer bis an die Grenzen der Atmosphäre reichenden Luftsäule. Man kann sogar ein Glas Wasser, gegen dessen Oeffnung man ein Stück Papier drückt, umkehren und das Papier loslassen, ohne daß das Wasser ausfließt; das Papier hindert das Eindringen der Luft, erleidet aber den Druck derselben. Eben so fließt aus einem vollen Fasse, so lange das Spundloch verschlossen bleibt, fast Nichts heraus, wenn man auch den Hahn öffnet, weil die Luft hier nur aufwärts drückt.

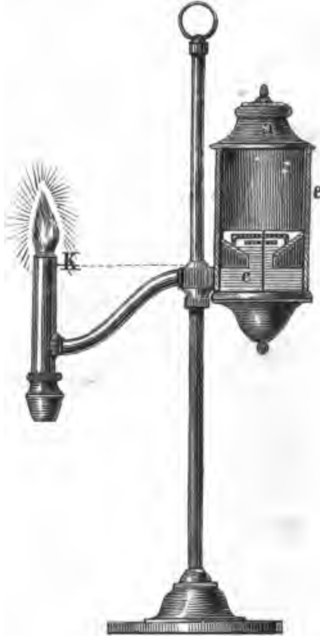
Fig. 110.



2. **Durch den Luftdruck unterbrochener und regulirter Ausfluß einer Flüssigkeit.** Der Ausfluß des Wassers aus einer mit der Oeffnung nach unten lothrecht gehaltenen Flasche geschieht stoßweise; durch das Ausfließen des Wassers wird die Luftmasse in der Flasche verdünnt, darum dringen durch die hinreichend weite Oeffnung Lufttheilchen ein und stellen die Spannkraft der Luftmasse in der Flasche wieder her. Taucht die Oeffnung einer gefüllten Flasche in einen vollen Trichter, aus dem die Flüssigkeit auszufließen beginnt, so wird allmählich die Oeffnung der Flasche frei; es kann dann Luft in sie eintreten, Wasser aus ihr in den Trichter fließen und den Flüssigkeitsspiegel (das Niveau) darin eine Zeit

lang in derselben Höhe erhalten. Eine solche Vorrichtung heißt ein **Niveauhalter.** Er ist bei unseren Lampen mit hohem Oelbehälter angewandt, um den Stand des Oels in derselben Höhe zu erhalten. Die untere Oeffnung des oben verschlossenen Oelbehälters liegt mit dem Dochte in derselben wagerechten Ebene; ist durch die Verbrennung Oel verzehrt, so wird die Oeffnung des Niveauhalters frei, es tritt Luft ein, und Oel fließt aus der weiteren der communicirenden Röhren zum Dochte.

Fig. 111.



3. **Das Athmen und Saugen.** Wie beim Athmen durch Erweiterung der Brusthöhle die Luft in derselben verdünnt wird, so daß neue Luft in dieselbe eindringt, so wird auch beim Saugen die Luft in einer Röhre verdünnt, und der Luftdruck nöthigt das Wasser, in welches das andere Ende derselben taucht, darin emporzusteigen. Beim Trinken verdünnen wir ebenfalls die Luft im Munde, und die Luft, die zum Trinkgefäß Zutritt haben muß, drückt auf dieselbe; beim Tabakrauchen wird die Luft in der Pfeife verdünnt und der Rauch durch den atmosphärischen Druck hinaufgedrängt. Stellt man das eine Ende einer Röhre, in der sich ein Kolben luftdicht bewegen läßt, in Wasser und zieht ihn empor, so entsteht unter dem Kolben ein luftverdünnter Raum, und das Wasser wird durch den Luftdruck dahin getrieben; auf ähnliche Weise wird in den Pumpen das Wasser zum Steigen gebracht*).

§. 132.
Das Barometer.

1. **Die Torricellische Röhre.** In dem großherzoglichen Garten zu Florenz wurde eine ungewöhnlich hohe Pumpe angelegt, lieferte aber zur Verwunderuug der Pumpenmeister durchaus kein Wasser, sondern dasselbe stieg in dem Pumpenrohre nur 32 Fuß hoch, und darüber blieb bis zu dem Kolben hin ein luftverdünnter Raum, der sich hätte mit Wasser füllen sollen. Diese Erscheinung erklärte Torricelli, Galiläi's Schüler, indem er annahm, der Luftdruck sei gerade so groß, daß er eine 32 Fuß hohe Wassersäule tragen könne; Quecksilber wiege 13½ Mal so viel als Wasser; eine Quecksilbersäule, welche die Luft tragen könne, werde daher 13½ Mal kürzer sein, als die emporgehobene Wassersäule, also etwa 28 Zoll

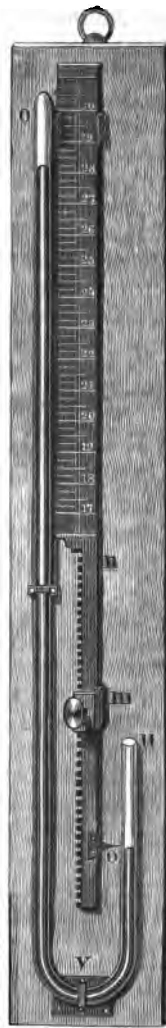
*) Ueber die Hervorbringung eines luftleeren Raumes durch Verdichtnug des Wasserdampfes vergl. §. 204.

hoch. Torricelli füllte daher im Jahre 1643 eine etwas über 30 Zoll lange, an dem einen Ende verschlossene Glasröhre mit Quecksilber, hielt das offene Ende mit dem Finger zu und tauchte es in ein Gefäß mit Quecksilber. Und als er den Finger wegzog, sank das Quecksilber wirklich um 2 Zoll und blieb in einer Höhe von 28 Pariser Zoll stehen. Ueber dem Quecksilber war in der Röhre ein leerer Raum, der Druck der Luft vermochte nicht, so viel Quecksilber zu heben, daß es diesen ausfüllte. Der Druck der Luft ist also gerade so groß, wie das Gewicht einer 28 Zoll hohen Quecksilbersäule. So gab denn die Torricellische Röhre die Größe des Luftdrucks an und war die erste Form des Barometers.

Fig. 112.



Fig. 113.



2. **Das Barometer.** Das gewöhnliche Barometer ist eine etwa 30 Pariser Zoll lange Glasröhre, die an dem oberen Ende zugeschmolzen, unten aber wieder aufwärts gebogen und zu einer oben offenen Glaskugel erweitert ist; die Röhre ist mit Quecksilber gefüllt und muß über der Quecksilbersäule vollkommen luftleer sein. Die Luft drückt auf das Quecksilber in der Kugel und hält dem Drucke der Quecksilbersäule das Gleichgewicht. Um die Höhe derselben messen zu können, ist oben der Raum etwa vom 26. bis 30. Zoll in Pariser Linien eingetheilt. Zu genaueren Messungen bedient man sich des Heberbarometers, das aus zwei communicirenden, gleich weiten Röhren, einer längeren, oben verschlossenen und einer kürzeren, offenen besteht, und dessen Eintheilung in Zolle und Linien länger ist und sich verschieben läßt, weil die Quecksilberoberfläche in der kürzeren Röhre, von wo an die Zolle zu messen sind, eben so steigt und fällt, wie sie in der längeren Röhre fällt und steigt.

3. **Anwendung des Barometers.** Das Barometer dient:

I. **Zum Messen des Luftdrucks,** dessen Größe dem Gewicht einer 28 Zoll hohen Quecksilbersäule gleichkommt. Jeder Quadratzoll, der einen luftleeren Raum einschließt, erleidet demnach einen Druck von 14 Pfund*).

II. **Als Wetterglas.** In der Regel zeigt das Steigen des Quecksilbers heiteres Wetter, das Fallen desselben trübe Witterung

*) Der menschliche Körper würde einen Luftdruck von mindestens 30,000 Pfund erleiden, wenn derselbe ein luftleerer Raum wäre.

an. Der Barometerstand ist nämlich am höchsten bei Nordostwinden, welche trockene Luft aus großen Landstrecken herbeiführen, am tiefsten bei Südwestwinden, welche, über Meere wehend, uns mit Wasserdampf gesättigte Luft bringen. So lange bei heiterem Wetter die Wasserdünste unsichtbar bleiben und in Dampfgestalt die Luft erfüllen, vermehren sie die Elasticität der Luft; sobald sie sich aber bei trübem Wetter verdichten und zu Tropfen vereinigen, muß der Luftdruck abnehmen und das Barometer fallen.

III. **Zu Höhenmessungen.** Da der Druck der Luft von der Erdoberfläche nach oben abnimmt, muß das Barometer desto mehr fallen, je beträchtlicher die Anhöhe ist, die man besteigt. Aus dem Fallen des Barometers läßt sich daher die Höhe eines Berges berechnen, den man mit demselben besteigt. Zunächst muß man 75 Fuß steigen, damit das Quecksilber um eine Linie falle; in der dünneren Luft muß man jedoch höher steigen, wenn das Barometer wieder eben so viel fallen soll. So steht es auf dem Montblanc 16 Zoll hoch bei 14600 und auf dem Chimborazo über 12 Zoll bei 2000 Fuß Höhe*).

§. 133.
Die Heber.

Heber sind offene Röhren, mittels deren man einen Theil einer Flüssigkeit aus einem Gefäß herausheben kann; der Stechheber wird durch Hineinstecken in die Flüssigkeit, der Saugheber durch Saugen gefüllt.


Fig. 114.

1. Der Stechheber.

Der gewöhnliche Stechheber ist eine gerade, an einer Stelle sich erweiternde Röhre und hat unten eine kleine, oben eine solche Oeffnung, die sich bequem mit dem Daumen verschließen läßt. Taucht man ihn in eine Flüssigkeit, so füllt er sich mit derselben, und wenn man ihn oben mit einem Finger verschließt, so kann man ihn emporheben, ohne daß die durch den Luftdruck getragene Flüssigkeit ausfließt.

2. Der Saugheber.

Ein Saugheber ist eine gebogene Röhre mit nach unten gekehrten Oeffnungen. Um mit demselben Wasser aus einem Gefäß zu schaffen, muß 1) der eine Arm des Hebers in die Flüssigkeit eingetaucht werden; 2) muß man den Heber in einer solchen Lage halten, daß die Oeffnung des nicht eingetauchten Armes tiefer liegt, als die Oberfläche der Flüssigkeit; 3) saugt man an der Oeffnung des nicht eingetauchten Armes, so steigt die Flüssigkeit in dem Heber empor, füllt ihn ganz und fließt, wenn man dann mit dem Saugen aufhört, ununterbrochen aus dem nicht eingetauchten Arme, bis die Flüssigkeitsoberfläche gleich tief, in einer wagerechten Linie mit seiner Oeffnung liegt. Beim Eintauchen des einen Armes hat sich in ihm nach dem Gesetz über communicirende Röhren das Wasser eben so hoch gestellt, wie es in dem Gefäß steht, und beim Saugen

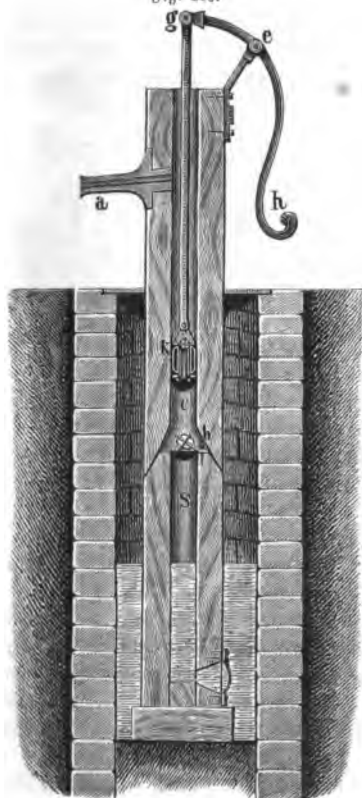
*) Ueber die Höhenmessungen mit dem Thermometer vergl. §. 196, 2.

hat der Luftdruck die Flüssigkeit in den Heber getrieben. Von der Schwerkraft abwärts gezogen, müßte nun die Flüssigkeit aus beiden Armen ausfließen, sich oben bei der Biegung der Röhre trennen und in dem eingetauchten Arme bis zur Oberfläche der umgebenden Flüssigkeit hinabsinken. Dadurch entstände in dem obersten Theile des Hebers ein luftleerer Raum; der Luftdruck treibt die Flüssigkeit in denselben und macht, indem er nirgends einen nicht angefüllten Zwischenraum gestattet, die den Heber füllende Flüssigkeit zu einer sich nicht zertheilenden, zusammenhängenden Masse. Liegt daher die Oeffnung des nicht eingetauchten Armes in wagerechter Linie mit der Oberfläche der Flüssigkeit im Gefäß, dann haben die Wassersäulen in beiden gefüllten Armen eine gleiche Höhe, ein gleiches Bestreben, zu fallen, werden auf gleiche Weise durch den Luftdruck daran verhindert, und aus dem Heber fließt nichts aus. Liegt aber die Oeffnung des äußeren Armes tiefer, oder ist er, wie gewöhnlich geschieht, aber nicht nothwendig ist, länger gearbeitet, dann ist auch die Wassersäule in ihm länger, als die in dem eingetauchten Arme über der Flüssigkeitsoberfläche liegende, hat ein größeres Bestreben, zu fallen, erlangt das Uebergewicht und beginnt auszufließen. Um die Bildung eines leeren Raumes im Heber zu verhindern, treibt der Luftdruck wieder Flüssigkeit in den verlassenen Raum und bewirkt, daß die Flüssigkeitsmasse als eine zusammenhängende durch das Uebergewicht der längeren Wassersäule bewegt wird. Gewöhnlich wird der Saugheber zum Leeren der Fässer durch das oben befindliche Spundloch gebraucht.

Fig. 115.



Fig. 116.



§. 134.

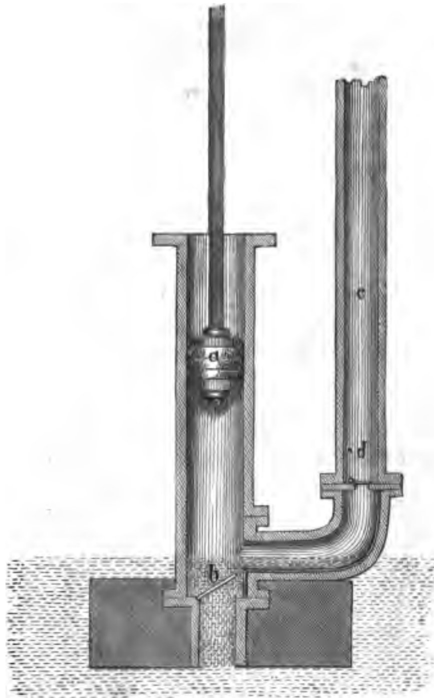
Die Saugpumpe, die Druckpumpe und die Feuerspritze.

1. Die Saugpumpe.

Die Hauptbestandtheile der gewöhnlichen Pumpe sind das mit einer Ausflußröhre versehene Pumpenrohr, das unten in einen Wasser-

behälter hinabreicht und, wegen des ungenauen Anschließens des **Kolbens** höchstens 24 Fuß über dem Wasser, ein sich nach oben öffnendes Ventil, das Bodenventil, enthält, und der an die inneren Wände des Pumpenrohrs genau anschließende **Kolben**, welcher durchbohrt und mit einem sich gleichfalls nur nach oben öffnenden Ventil, dem Kolbenventil, versehen ist. Der Kolben ist an die eiserne Pumpenstange befestigt und wird sammt dieser durch den Pumpenschwengel auf und ab bewegt. Gesetzt nun, es befinde sich der Kolben dicht über dem Bodenventil und werde emporgehoben, so entsteht zwischen ihm und dem Bodenventil ein luftleerer Raum, in den das Wasser sogleich wegen des Drucks der atmosphärischen Luft eindringt. Bewegt man den Kolben wieder abwärts, so öffnet sich das Kolbenventil, das Wasser dringt durch den Kolben und kann, da es durch seine Schwere das Kolbenventil wieder schließt, durch den Kolben emporgehoben und zum Ausfließen gebracht werden.

Fig. 117.



2. Die Druckpumpe.

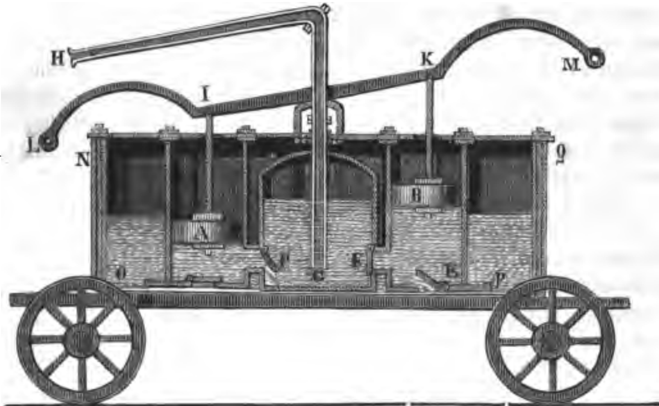
Die Druckpumpe unterscheidet sich von der Saugpumpe dadurch, daß der Kolben der Druckpumpe nicht durchbohrt ist, daß statt der Ausflußröhre aus dem unteren Theil des Pumpenrohrs eine Steigeröhre führt, die meistens nach oben umgebogen ist, und daß in der Steigeröhre sich ein Seitenventil befindet, das sich nur nach außen öffnet. Die Druckpumpe wird angewandt, wo man Wasser auf größere Höhen schaffen will oder wo, wie in der hydrostatischen Presse und der Feuerspritze, dem Ausfließen des Wassers eine andere Kraft entgegenwirkt.

3. Die Feuerspritze.

Die Feuerspritze ist eine Verbindung von Druckpumpen mit einem Heronsballe. In dem mit Wasser gefüllten Spritzkasten stehen zwei metallene Druckpumpen, deren Pumpenstangen sich mittels einer wagerechten, eisernen Druckstange auf- und niederbewegen lassen. Zwischen beiden Pumpen ist der Windkessel angebracht, ein weiter, verschlossener Cylinder von der Einrichtung des Heronsballes, also mit einer Röhre, die fast bis auf den Boden hinabreicht. Durch die Pumpen, deren Ausfluß-

röhren in den Windkessel führen, wird stoßweise Wasser in denselben geschafft und die Luft durch das eintretende Wasser immer mehr

Fig. 118.

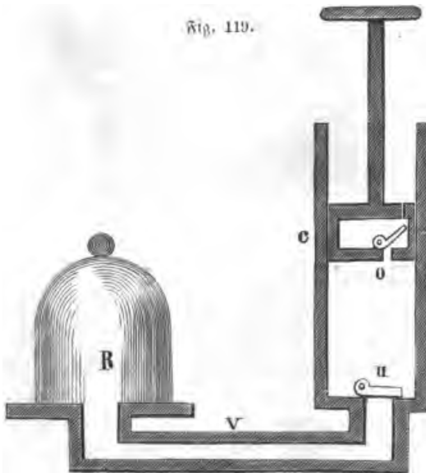


zusammengepreßt; durch ihre Elasticität wird aus der Röhre des Windkessels oder einem daran geschraubten Schlauche mit großer Gewalt ein ununterbrochener Wasserstrahl emporgetrieben.

§. 135.

Die Luftpumpe.

Zur Verdünnung der Luft in irgend einem Behälter dient die Luftpumpe, die 1650 durch Otto von Guerike, Bürgermeister zu Magdeburg, erfunden worden ist. Nach der Verschiedenheit ihres Baues sind zwei Arten von Luftpumpen zu unterscheiden, Ventilluftpumpen und Hahnluftpumpen.



1. Der erste Haupttheil einer **Ventilluftpumpe** ist der Stiefel, ein hohler, sorgfältig ausgeschliffener Metallcylinder, am Boden mit einem Ventil von Wachstaffet, das sich nur nach oben öffnet. In dem Cylinder läßt sich ein luftdicht schließender Kolben bewegen, der in der Mitte durchbohrt und mit einem sich ebenfalls nach oben öffnenden Ventil versehen ist. Die Glasglocke oder überhaupt das Gefäß, das luftleer gemacht werden soll, wird der Recipient genannt, ist unten offen und steht auf einer horizontalen Metallscheibe, dem Teller; aus

dem Recipienten bietet eine enge Verbindungsröhre der Luft einen Weg durch den Teller hindurch in den unteren Theil des Stiefels.

Wird nun der Kolben in dem Stiefel emporgezogen, so ist das Kolbenventil durch den Druck der atmosphärischen Luft geschlossen, und unter dem Kolben entsteht ein luftleerer Raum. Allein wegen ihres Bestrebens, sich auszudehnen, dringt sogleich Luft aus dem Recipienten nach dem Stiefel, öffnet sich dessen Ventil und begiebt sich in den luftleeren Raum unter dem Kolben; die Luft des Recipienten hat sich daher in einen größeren Raum ausgedehnt und ist bereits etwas verdünnt. Schiebt man den Kolben wieder nieder, so wird die unter ihm befindliche Luft etwas zusammengepreßt, verschließt sich das Ventil am Boden des Stiefels, öffnet sich dagegen das Kolbenventil und strömt durch dasselbe ins Freie. Durch wiederholtes Auf- und Niederschieben des Kolbens wird die Luft des Recipienten immer mehr verdünnt, bis sie endlich nicht mehr Spannkraft genug hat, um die Ventile zu öffnen.

Fig. 120.

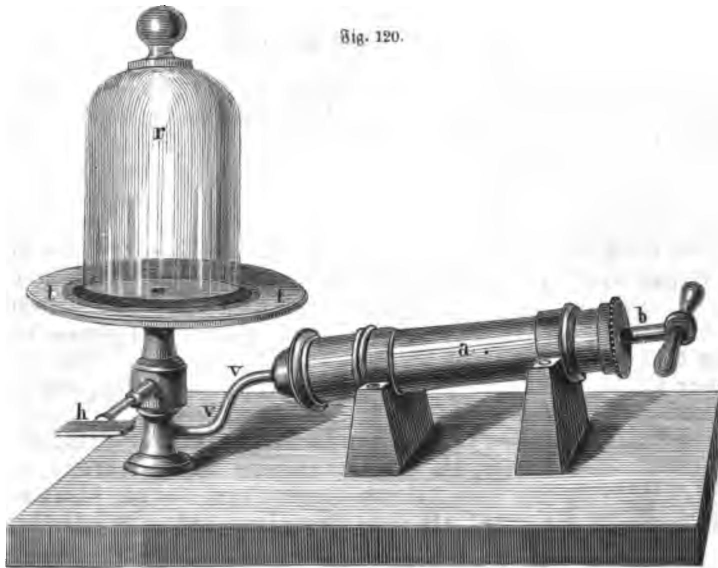
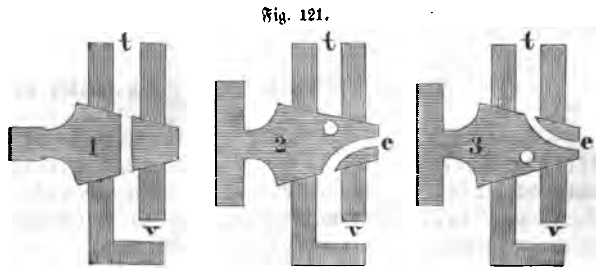


Fig. 121.



2. Die **Hahnluftpumpen** haben einen nicht durchbohrten Kolben und statt der beiden Ventile dicht unter dem Stiefel einen doppelt durchbohrten

Hahn, den man bei jeder Bewegung des Kolbens drehen muß. Beim Emporziehen des Kolbens stellt man den Hahn so, daß die Luft des Recipienten sich durch ihn hindurch bis unter den Kolben ausdehnen kann. Schiebt man den Kolben wieder nieder, so giebt man dem Hahn eine solche Stellung (Nr. 2), daß die unter dem Kolben befindliche Luft durch den Hahn hindurch ins Freie ausströmen muß.

§. 136.

Versuche mit der Luftpumpe.

Durch die wichtigsten Versuche mit der Luftpumpe wird bewiesen:

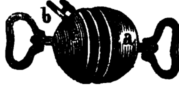
I. **Die Schwere der Luft.** Vergl. §. 129.

1. Eine Glaskugel wird leichter, wenn sie luftleer gemacht wird.

II. **Der Druck der Luft.**

2. Eine gläserne Glocke, unter welcher die Luft verdünnt worden ist, wird von der atmosphärischen Luft fest auf den Teller der Luftpumpe gedrückt. 3. Stellt man einen Cylinder, über den oben ein Stück von dünnem Gummi gespannt ist, auf den Teller, so wird dieses schon nach wenigen Kolbenzügen durch den Luftdruck hineingedrückt. 4. Wird auf den Cylinder ein hölzernes, mit Quecksilber gefülltes Gefäß gestellt, so wird sogar, wenn die Luft unter dem Cylinder verdünnt wird, das Quecksilber durch die Poren des Holzes gepreßt und fällt in dem Cylinder als ein feiner Quecksilberregen hinab. 5. Bei der Barometerprobe wird ein kleines Barometer unter die Glasglocke gestellt, und das Quecksilber darin sinkt gänzlich hinab, wenn die Luft und damit auch der Luftdruck entfernt wird. 6. Ein Stechbecher fängt im luftleeren Raume an zu fließen, zum Beweise, daß die in ihm befindliche Flüssigkeit nur durch die Luft getragen wurde. 7. Die Magdeburger Halbkugeln, zwei hohle Halbkugeln von Kupfer, die genau an einander passen, werden, wenn aus ihnen die Luft gepumpt wird, durch die umgebende Luft so fest an einander gedrückt, daß sie sich nur mit großer Gewalt trennen lassen. Sechszehn Pferde waren nicht im Stande, die großen, luftleer gemachten Halbkugeln zu trennen, welche Otto von Guericke 1654 auf dem Reichstage zu Regensburg vor Kaiser Ferdinand III. zeigte.

Fig. 122.



III. **Das Bestreben der Luft, sich weiter auszudehnen.**

8. Ein zusammengedrückter und nur noch wenig Luft enthaltender, kleiner Ballon, den man fest zugebunden hat, wird unter dem Recipienten durch die in ihm befindliche Luft immer mehr ausgedehnt, vergl. §. 124. 9. Kleine Glaskugeln werden unter der Glocke durch die Ausdehnung der in ihnen enthaltenen Luft gesprengt.

IV. **Der Widerstand, den die Luft fallenden Körpern entgegenstellt.** Vergl. §. 77.

10. Alle Körper, z. B. eine Münze und eine Feder, fallen in einer hohen, luftleer gemachten Glasröhre gleich schnell.

V. **Der Widerstand, den der Druck der Luft der Dampfbildung entgegensetzt.** Vergl. §. 196, 2.

11. Im luftleeren Raume fängt lauwarmes Wasser an zu kochen; es verwandelt sich leichter in Dampf, weil hier nicht mehr der Luftdruck das Aufsteigen der Dampfblasen hindert.

VI. **Die Kälte, die bei der Verdunstung entsteht.** Vergl. §. 198.

12. Befindet sich unter der Glocke der Luftpumpe unter einem kleinen Gefäß, etwa einem Uhrglase mit Schwefeläther, ein anderes Uhrglas voll Wasser, so verwandelt sich das Wasser in Eis. Der Schwefeläther verdunstet leicht und schnell, und dadurch entsteht eine Kälte, bei der das Wasser gefriert.

VII. **Die Fortpflanzung des Schalles durch die Luft.** Vergl. §. 140.

13. Der Ton eines Glöckchens oder eines Weckers unter dem Recipienten wird kaum gehört, vorausgesetzt, daß dieselben nicht mit einem festen, elastischen Körper in Berührung sind.

VIII. **Die Nothwendigkeit der Luft oder vielmehr ihres Sauerstoffs zum Brennen und Leben.** Vergl. §§. 63 und 70.

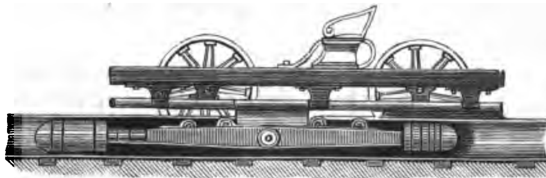
14. In verdünnter Luft erlöschen Lichter, und 15. Stahl giebt keine Funken. 16. Pulver entzündet sich unter dem Recipienten nicht. 17. Thiere sterben im luftleeren Raume.

§. 137.

Die atmosphärische Eisenbahn.

In der neuesten Zeit ist bei den **atmosphärischen Eisenbahnen** in England von der Luftpumpe eine wichtige Anwendung gemacht und statt des Dampfes der Druck der Luft als bewegende Kraft benutzt worden. Es liegt mitten zwischen den Schienen der Bahn ihrer ganzen Länge nach eine gußeiserne Röhre, die Treibröhre, und in derselben befindet sich in horizontaler Lage ein luftdicht anschließender Kolben. Durch Dampfkraft wird in dem Bahnhofsgebäude eine Luftpumpe in Thätigkeit gesetzt und pumpt auf derjenigen Seite des Kolbens, wohin

Fig. 123.



der Zug gehen soll, die Luft aus der Treibröhre. Durch den Druck der hinter dem Kolben einströmenden Luft wird derselbe vorwärts geschoben. Damit nun der Kolben einen Wagen mit sich fortziehe, befindet sich oben in der Treibröhre ihrer ganzen Länge nach ein durch Klappen verschlossener Spalt, und durch denselben geht von dem Kolben eine starke Stange hinauf zu dem ersten Wagen des Zuges. Die Klappen werden durch Räder an der Kolbenstange emporgehoben und darauf durch ein über sie fortlaufendes kleines Rad des Wagens wieder zugedrückt und von dem Wagen herab aus einer Röhre mit geschmolzenem Wachs übergossen, damit sie wieder luftdicht schließen, wenn beim Abgehen des nächsten Zuges die Treibröhre vor dem Kolben wieder luftleer gemacht werden soll.

§. 138.

Gegenseitige Durchdringung luftförmiger Körper.

Die Theile eines luftförmigen Körpers üben gegen einander, gegen feste und flüssige Körper einen Druck aus. Anders verhalten sich aber zwei verschiedene Luftarten gegen einander. Das specifische Gewicht des Wasserstoffs ist über 20 Mal kleiner, als das der Kohlensäure. Nimmt man zwei an ihren gleich weiten Oeffnungen mit Talg überstrichene Gläser, von denen das eine Kohlensäure, das zweite Wasserstoff enthält, und drückt man das zweite Glas umgekehrt, mit seiner Oeffnung nach unten, an die Oeffnung des ersten Glases, so sollte man, weil Wasserstoff und Kohlensäure sich nicht chemisch anziehen und sich nicht zu einem zusammengesetzten Körper verbinden, erwarten, daß, gleichwie eine Schicht Oel über dem Wasser stehen bleibt, so auch der Wasserstoff in dem oberen und die schwerere Kohlensäure in dem unteren Glase bleiben werde. Untersucht man aber nach einiger Zeit beide Gefäße durch Eingießen von Kalkwasser (§. 63), so zeigt sich, daß die Kohlensäure sich auch in das obere Glas verbreitet hat; eben so ist auch Wasserstoff in das untere gedrungen. Es hat eine **Durchdringung oder Diffusion** beider Luftarten stattgefunden. Jeder luftförmige Körper findet zwischen den Theilen einer anderen Luftart unzählige Zwischenräume; da seine Theile sich abstoßen, breiten sie sich durch die Zwischenräume der anderen Luftart, ohne auf sie einen Druck auszuüben, eben so weit und mit derselben Spannkraft aus, als ob sie nicht vorhanden, sondern der Raum luftleer wäre. Deshalb gilt über die gegenseitige Durchdringung luftförmiger Körper das nach seinem Entdecker benannte

Daltonsche Gesetz: Jeder luftförmige Körper verbreitet sich innerhalb eines andern ganz eben so, wie in einem luftleeren Raume.

Dritte Gruppe.

Schall, Licht und Wärme.

I. Der Schall.

a. Der einfache Schall.

§. 139.

Die Entstehung des Schalles.

In demselben Augenblicke, in welchem neben uns ein Stein auf den Fußboden fällt, kommt unserm Ohr die Kunde von dem Zusammenstoßen beider Körper zu, und es vernimmt einen einmaligen Schall. Stößt ein Wagen gegen einen Stein, der Hammer gegen den Amboß, wird eine Thür gegen ihre Pfosten geworfen, trifft ein umfallender Gegenstand einen andern, überhaupt, wenn zwei feste Körper zusammenstoßen, so erregen sie einen Schall. Eben so vernehmen wir es, wenn ein hingeworfenes Holzstück mit dem Wasserspiegel zusammentrifft, oder wenn Regentropfen in einen Teich fallen. Die verdichtete Luft in einer Knallbüchse, einer Bierflasche, einer Flinte, einem zusammengelegten platzenden Rosenblatte stößt, sobald sich ihr ein Ausweg darbietet, mit Heftigkeit auf ruhende Luftmassen und verursacht einen Knall, das heißt einen starken, einfachen Schall. Beim schnellen Oeffnen eines gut schließenden Pennals entsteht ein luftverdünnter Raum, in den die ihn umgebende Luft hineinstürzt; beim Knallen mit einer Peitsche wird der von ihr verlassene Raum plötzlich luftleer, und die von allen Seiten in denselben stürzenden Luftmassen stoßen gegen einander.

Ein Schall entsteht durch den Stoß eines bewegten Körpers gegen einen andern.

§. 140.

Die Fortleitung des Schalles.

Gleich den Wellen des Wassers, die sich um einen hineingeworfenen Stein bilden und nach allen Seiten sich fortpflanzen, entstehen durch die Schwingungen eines schallenden Körpers Wellenbewegungen in der **Luft,**

Schallwellen, die nach allen Seiten hin weiter fortschreiten. Beim Zusammenschlagen der Hände oder eines Buches wird die um dieselben befindliche Luft verdichtet, dehnt sich aus und verdichtet die nächsten und diese die entfernteren Lufttheilchen, bis eine verdichtete Luftmasse unser Ohr trifft. Indem aber die ursprünglich verdichtete Luftmenge in Folge der schnellen Bewegung zu stark ausgedehnt ist, entsteht ein luftverdünnter Raum; das benachbarte Lufttheilchen kehrt in denselben zurück und bewirkt neben sich eine Verdünnung der Luft, die ebenfalls bis zum Gehörgang fortschreitet und bewirkt, daß das Trommelfell desselben eine Schwingung macht. Von dem äußeren Ohr in ziemlich großem Umfange aufgenommen, dringt die durch Verdichtung und Verdünnung der Luft hervorgebrachte Schallwelle durch den Gehörgang bis an das Trommelfell, erschüttert dasselbe und das durch die 4 Gehörknöchelchen mit ihm verbundene Labyrinth, die innerste, mit einer wässerigen Flüssigkeit gefüllte Höhle des Ohrs, in welcher der Gehörnerv sich ausbreitet. — Je dichter die Luft ist, desto besser leitet sie den Schall. Daher die lautlose Stille in der dünnen Atmosphäre auf hohen Alpengipfeln und der schwache Klang eines Glöckchens unter der Glocke der Luftpumpe. Regen und Schneefall schwächen den Schall, weil sie die Schallwellen vielfach unterbrechen und stören.

Im **Wasser** hören die Fische den Ton der sie lockenden Glocke, das Zusammenschlagen von Steinen unter Wasser wird in und außer demselben vernommen, und Taucher haben den Knall einer in der Luft abgeschossenen Pistole deutlich gehört. **Feste Körper** leiten den Schall noch besser, wenn sie elastisch genug sind. Den Hufschlag der Pferde vernimmt man in weiter Entfernung, wenn man das Ohr auf die Erde legt; in Bergwerken hören die Arbeiter die Schläge ihrer Genossen; den Ton eines gegen den Tisch bewegten silbernen Löffels vernimmt man bei zugehaltenen Ohren, wenn man den Faden, woran er hängt, zwischen die Zähne nimmt. Lockere, in sich ungleichartige Körper, zwischen deren Theilen sich Luftschichten befinden, Tuch, Pelz, Wolle, Baumwolle, Federn, Sägespäne, sind zur Fortleitung des Schalles am wenigsten geeignet und schwächen ihn bedeutend.

Gesetz: Der Schall wird durch luftförmige, flüssige und feste Körper weiter geleitet, und zwar am besten durch dichte, elastische und gleichartige Körper.

§. 141.

Die Geschwindigkeit des Schalles.

Die **Geschwindigkeit** des Schalles in der Luft hat man durch vielfach, am genauesten durch den Naturforscher Moll auf zwei Anhöhen bei Utrecht im Jahre 1823, mit Kanonen angestellte Versuche gefunden; man ließ auf einem Berge eine Kanone abfeuern, beobachtete von einem andern, möglichst entfernten Berge den Blitz derselben durch ein Fernrohr und sah an einer genau gehenden Uhr nach, wie viel Zeit verging, bis man den Knall hörte. In der zwischen Blitz und Knall verflossenen Zeit hatte der Schall den Weg von dem

einen Berge zum andern zurückgelegt; man brauchte nur noch die Entfernung derselben von einander zu messen und erhielt als Ergebniß, daß

die Geschwindigkeit des Schalles in der Luft 1080 Fuß in einer Secunde beträgt.

Diese Angabe gilt für eine Luftwärme von 8 Grad Réaumür; bei größerer Wärme wird die Geschwindigkeit für jeden Grad um 2 Fuß größer, bei geringerer eben so viel kleiner.

§. 142.
Die Zurückwerfung des Schalles.

Ein elastischer Ball, der rechtwinklig auf eine Fläche trifft, kehrt an seinen früheren Ort zurück. Wasserwellen brechen sich am Ufer und kehren nach dem Orte ihrer Entstehung zurück. Aehnlich

werden die Schallwellen, wenn sie an einen dichten, festen Körper anschlagen, zum großen Theil von seiner Oberfläche zurückgeworfen.

Durch diese Zurückwerfung des Schalles entstehen die Erscheinungen des Nachhalles und des Echo's. In einem gewöhnlichen Zimmer treffen wegen der großen Nähe der Wände die von diesen zurückgeworfenen Schallwellen unser Ohr zugleich mit den ursprünglichen Schwingungen und bewirken eine **Verstärkung** des Schalles im Vergleich zu seiner Stärke im Freien; in sehr großen Gebäuden kommen sie etwas später, ohne sich jedoch deutlich von den ursprünglichen Schallwellen unterscheiden zu lassen, und bilden den **Nachhall.** Wirft aber eine Wand, ein Berg oder ein Wald, der etwa 60 Fuß entfernt ist, die Schallwellen zurück, so entsteht ein **Echo**, das, von dem ursprünglichen Schalle deutlich geschieden, von einem gesprochenen Worte die letzte Sylbe und bei doppelter oder dreifacher Entfernung mehrere Sylben wiederholt. Wo zwei zurückwerfende Wände einander gegenüberstehen oder mehrere an einander stoßen, da vernimmt man ein mehrmaliges Echo, wie das berühmte auf dem runden Königsplatz zu Cassel, das ein einsylbiges Wort 9 Mal, das beim Lorelcyfelsen am Rhein, das eine Sylbe 17 Mal wiederholt, und das vierzigmalige Echo beim Schloß Simonetta in der Nähe von Mailand; bei Adersbach in Böhmen ist ein siebensylbiges, dreimaliges Echo.

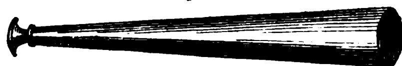
§. 143.
Die auf der Zurückwerfung des Schalles beruhenden Vorrichtungen.

Auf der Zurückwerfung des Schalles beruhen:

1. Die **Schallröhren** oder **Communicationsröhren**, hohle, blecherne Röhren von der Stärke eines Fingers, die aus dem Mastkorbe eines Schiffes oder aus einem Stockwerk eines großen Gebäudes in ein anderes führen und, indem sie die Schallwellen durch stete Zurückwerfung hindern, sich aus-

zubreiten, die an dem einen Ende hineingesprochenen Worte vernehmbar bis an's andere Ende tragen. Versteckte Communicationsröhren sind bei den zauberhaften Erscheinungen des unsichtbaren, sprechenden Mädchens und der wahrsagenden Türken in Anwendung gebracht.

Fig. 124.



2. Das **Sprachrohr** ist eine 6 Fuß lange, kegelförmige Röhre von Pappe oder Metall, in deren engeres, mit einem Mundstück versehenes Ende hineingesprochen wird. Seine Wände werfen die Schallwellen nach derselben Richtung hin und tragen so den Schall in weitere Entfernung.

3. Das **Hörrohr** ist ein umgekehrtes Sprachrohr, dessen weites Ende recht viel Schallwellen auffängt und dem am dünneren Ende horchenden, schwer hörenden Ohr zuführt.

4. Die **Sprachgewölbe**, deren Wände eine Ellipse bilden, haben im Innern zwei merkwürdige Punkte, die man Brennpunkte nennt. Was nämlich in dem einen derselben auch nur leise gesprochen wird, vernimmt man in dem andern Brennpunkte deutlich, ohne daß es an andern Stellen des Gebäudes gehört wird. So gebaut ist die Gallerie in der Kuppel der Peterskirche zu Rom, der Paulskirche zu London, und ehemals das Ohr des Dionysius in den Steinbrüchen bei Syrakus.

---

b. Der zusammengesetzte Schall.

§. 144.

Das Geräusch und der Ton.

1. Folgen mehrere schallerregende Stöße auf einander, so vernimmt das Ohr eine Reihe einzelner Schalle. Geschieht aber ihre Aufeinanderfolge sehr schnell, so sind wir außer Stande, die einzelnen Schalle zu unterscheiden; sie fließen für unser Gehör in einander und bilden einen zusammengesetzten Schall. Ein zusammengesetzter Schall besteht aus schnell auf einander folgenden einfachen Schallen.

2. Zahlreich fallende Regentropfen erregen einen zusammengesetzten Schall, in dem die einzelnen Stöße weder von gleicher Beschaffenheit sind, noch in gleichen Zeiträumen erfolgen; sie bewirken einen unregelmäßig zusammengesetzten Schall. Einen unregelmäßig zusammengesetzten Schall nennen wir **ein Geräusch.** Nach seiner Färbung hat die Sprache besondere Namen dafür ausgeprägt; so für das Rollen eines entfernten Rottenfeuers oder des Donners, das Plätschern der Quelle, das Rauschen der Blätter, das Brausen des Windes, das Zischen der beim Eintauchen heißen Metalls entstehenden Dampfblasen, das Rasseln des Wagens und das Knarren der Räder.

3. Ein regelmäßig zusammengesetzter Schall heißt **ein Ton.** Einen Ton bildet eine Reihe von vielen unter einander gleichen Schallen, die in gleichen Zwischenräumen auf einander folgen. Die Entstehung eines Tones zeigt am deutlichsten **die Sirene**, eine runde Metall- oder Pappscheibe, am Rande mit etwa 24 gleichen Zähnen, die etwas breiter

sind, als die zwischen ihnen liegenden Lücken; gegen die Zähne wird, während man die Scheibe schnell dreht, von oben her aus einer kleinen Röhre mit dem Munde ein Luftstrom geblasen. Befindet sich ein Zahn unter der Röhre,

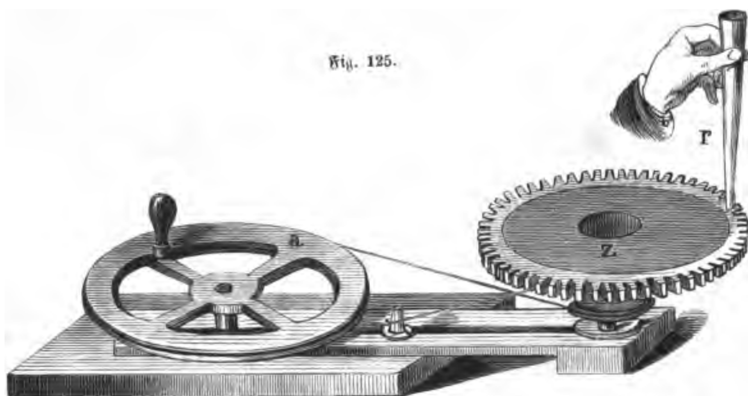


Fig. 125.

so wird die Luft unter ihr verdichtet; tritt eine Zahnlücke darunter, so wird sie verdünnt. So viel Zähne daher unter der Röhre weggehen, so viel Verdichtungen und Verdünnungen, so viel Hin- und Hergänge, oder so viel Doppelschwingungen treten ein. Bei langsamer Umdrehung der Scheibe vernimmt man dieselben einzeln, bei schneller setzen sie sich zu einem Tone zusammen.

§. 145.

Tonhöhe und Tonleiter.

1. Bei schneller Umdrehung der Sirene nimmt die Anzahl der Luftschwingungen und zugleich die Höhe des Tones zu. Dieselbe Anzahl von Schwingungen in der Secunde giebt auf den verschiedensten Instrumenten stets denselben Ton.

Ein Ton ist desto höher, je größer seine Schwingungszahl ist.

Bewegt man die Sirene mit Hülfe einer Schnur ohne Ende und befestigt man an ihre Scheibe ein kleines Getriebe, das ein größeres Rad mit einem Zeiger langsamer umdreht, so kann man die Umdrehungen zählen und genau die Schwingungszahlen für jeden Ton finden.

Der tiefste Ton der Musik, das Subcontra-C, das zwei Octaven tiefer liegt, als das große, tiefste C des Claviers, macht in der Secunde 16 Doppelschwingungen. Der höchste Ton, der zur Anwendung kommt, das fünfmal gestrichene c, macht 4096 Doppelschwingungen. Die Octave irgend eines Tones wird durch die doppelte Anzahl von Schwingungen hervorgebracht.

2. Die zwischen einem Tone und seiner Octave liegenden Töne bilden eine Tonleiter. Während C eine Doppelschwingung ausführt, macht D $^9/_8$, E $^5/_4$ nach folgender Uebersicht.

Grundton.	Secunde.	Terz.	Quarte.	Quinte.	Sexte.	Septime.	Octave.
C.	D.	E.	F.	G.	A.	H.	c.
1.	$^9/_8$	$^5/_4$	$^4/_3$	$^3/_2$	$^5/_3$	$^{15}/_8$	2.

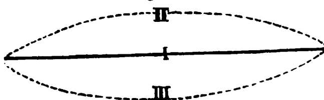
Da das große C durch 64 Doppelschwingungen entsteht, werden für D $64 \times {}^9/_8 = 72$ und für die Octave d $64 \times {}^9/_8 \times 2$ erfordert, so daß leicht die Schwingungszahlen aller Töne zu berechnen sind. Auf einem Instrument legt man aber nicht immer C zu Grunde, sondern es ist zu fordern, daß man auch in andern Tonarten spielen könne. Ginge man von D als Grundton aus, so würde A seine Quinte sein und müßte ${}^3/_2 \times 72 = 108$ Doppelschwingungen machen, während es als Sexte zu C ${}^5/_3 \times 64 = 106{}^2/_3$ zur Schwingungszahl hat. Dieser Unterschied muß beim Stimmen vorsichtig auf alle Töne vertheilt und dabei die Octaven rein erhalten werden.

§. 146.

Die Saiteninstrumente.

1. **Schwingungen tönender Saiten.** Eine angeschlagene Saite führt die regelmäßigen schallerregenden Stöße gegen die Luft aus, indem sie vermöge ihrer Elasticität sich biegt und hin- und herschwingt. Die Schwingungen eines Körpers, der sich biegt und quer über seine Ruhelage weggeht, heißen **Transversal-** oder **Querschwingungen.** In die gekrümmte Lage II gebracht, zieht sich die Saite zusammen, kehrt mit zunehmender Geschwindigkeit in ihre Ruhelage I zurück, überschreitet dieselbe nach dem Beharrungsgesetz und gelangt mit abnehmender Geschwindigkeit in die fast eben so gekrümmte Lage III; von da zurückgekehrt, schwingt sie eben so regelmäßig weiter.

Fig. 126.



2. **Tonhöhe einer Saite.** Von zwei gleich langen und gleich stark gespannten Saiten giebt die dünnere einen höheren Ton, weshalb man für tiefere Töne dickere oder übersponnene Saiten wählt. Beim Stimmen spannt man die Saiten stärker, die einen zu tiefen Ton geben, und beim Spielen der Streichinstrumente verkürzt man durch Greifen mit den Fingern die Länge der tönenden Saiten, wenn höhere Töne zu spielen sind. Je mehr man eine Saite verkürzt, desto höher wird ihre Schwingungszahl; die Hälfte macht doppelt so viel Schwingungen.

Der Ton einer Saite ist desto höher, je dünner, je stärker gespannt und je kürzer sie ist.

3. **Verstärkung des Tones durch Resonanz.** Da die Töne einer Saite nur schwach sind, bedürfen sie einer Verstärkung. Ein über hölzerne Stäbe auf die Tischplatte niedergedrückter Faden tönt stärker, als wenn er frei mit den Händen gehalten wird, weil die Fasern des Holzes mitschwingen; auf dem Tische tickt eine Taschenuhr lauter; eben so eine angeschlagene auf Holz gestemmte Stimmgabel. So schwingen auch Mauern und Fenster beim Läuten und Spielen der Orgel, und von zwei gleichgestimmten Saiten tönt, wenn die eine angeschlagen ist, auch die andere mit. Das Mittönen eines umfangreichen Körpers, das den Ton der ursprünglichen Schwingungen verstärkt, heißt die **Resonanz.** Darauf beruht die Anwendung des aus trockenem, elastischem und gleichfaserigem

Holze gearbeiteten Resonanzbodens, dessen Schwingungen man sichtbar machen kann, indem man beim Spielen des Instrumentes ein von drei Borsten getragenes Korkstückchen darauf stellt.

4. **Arten der Saiteninstrumente.** Die Saiteninstrumente zerfallen in drei Klassen, je nachdem der Ton durch Streichen mit dem Bogen, durch Reißen mit den Fingern oder durch Tastenanschlag hervorgebracht wird.

Es machen aus

I. die erste Klasse (Streichinstrumente): Violine, Bratsche, Violoncello, Contraviolon;

II. die zweite Klasse: Harfe, Guitarre, Lyra;

III. die dritte (Tasteninstrumente): Clavier, Fortepiano und Flügel.

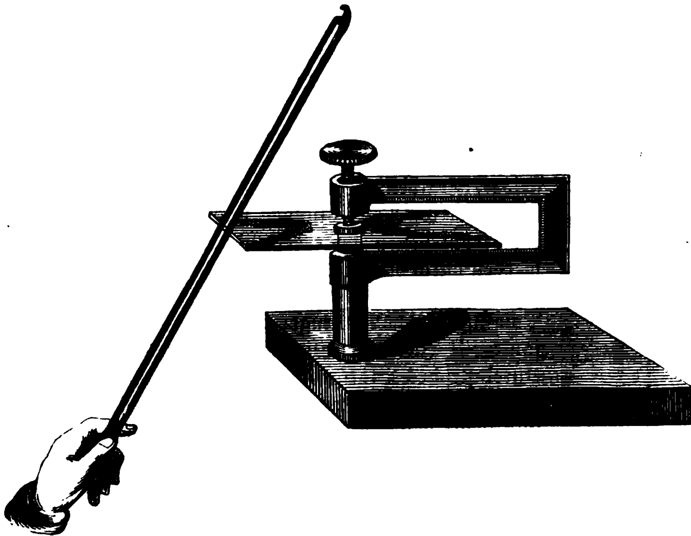
Ihr Klang, das heißt, die eigenthümliche Färbung, wodurch sich gleich hohe Töne unterscheiden, richtet sich nach der Weise, wie der Ton gewonnen wird, und nach der Güte des Resonanzbodens.

§. 147.

Die Flächeninstrumente.

An der Trommel und Pauke, an Becken und Glocken sind Flächen die tönenden Körper. Flächen schwingen nicht als ein Ganzes, sondern theilen sich in mehrere schwingende Abtheilungen. Wird ein mit

Fig. 127.



Wasser gefülltes glockenförmiges Weinglas oben am Rande mit einem Violinbogen gestrichen, so entstehen bei einem reinen Tone vier Abtheilungen von Wellen. Mit Sand bestreute, in einem Punkte festgehaltene Glas- oder

Metallscheiben zeigen beim Anstreichen die nach ihrem Entdecker benannten Chladnischen Klangfiguren, in denen der Sand sich auf die ruhenden Stellen zurückzieht.

§. 148.

Die Blaseinstrumente.

1. **Tönende Luftsäulen.** Daß nicht die Wände der Blaseinstrumente schwingen, geht daraus hervor, daß man sie, ohne den Ton zu stören, mit der Hand anfassen kann, daß man zu Orgelpfeifen einen wenig elastischen Stoff, das Zinn, verwendet, und daß die Dicke der Wände die Höhe des Tones nicht verändert. In jedem Blaseinstrumente ist der tönende Körper **eine Luftsäule,** die sich der Länge nach ausdehnt und zusammenzieht, also **Longitudinal-** oder **Längenschwingungen** macht. Der Ton einer Pfeife ist desto höher, je kürzer sie ist und je stärker sie angeblasen wird; offene Pfeifen geben einen um eine Octave höheren Ton, als die gedeckten, an einem Ende geschlossenen Pfeifen.

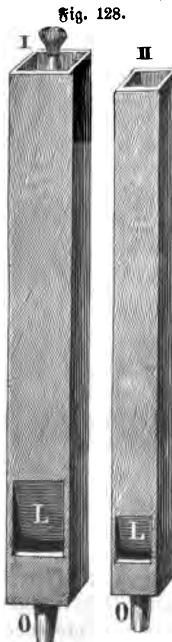
2. **Arten der Blaseinstrumente.** In Gebrauch sind Blaseinstrumente

I. mit einer Mundöffnung: Flöte, Signalpfeife und die Lippenpfeifen der Orgel;

II. mit einem Kesselmundstück: Waldhorn, Trompete, Posaune;

III. mit einer elastischen Zunge: Clarinette, Oboe, Fagott und die Zungenpfeifen der Orgel.

Fig. 128.



In den Lippenpfeifen spaltet sich der unten bei O eintretende Luftstrom an der zugeschärften Oberlippe L der Mundöffnung, und ein schmaler Luftstrom reibt sich, wie ein Bogen an der Saite, an der Luftsäule der Pfeife, ihrer ganzen Länge nach. In der Flöte reicht die schwingende Luftsäule bis zu der ersten nicht mit den Fingern verschlossenen Oeffnung. — An ein Kesselmundstück gelegt, gerathen die Lippen des Musikers in Schwingungen und bewirken Verdichtungen und Verdünnungen der Luft; die verschiedenen Töne des Waldhorns und der Trompete werden durch verschiedene Stärke des Anblasens und theilweises Verschließen der Oeffnung hervorgebracht, bei der Posaune durch Verlängerung und Verkürzung der Luftsäule. — In den Instrumenten der dritten Klasse wird ein elastisches Blättchen, wie man es am Aeolodikon und der Mundharmonika sieht, in tönende Bewegung gesetzt und theilt dieselbe der Luftsäule mit. Das menschliche Stimmorgan hat mit den Zungenpfeifen Aehnlichkeit; in dem Kehlkopf, dem oberen Theil der Luftröhre, werden die Stimmbänder durch einen Luftstrom in tönende Schwingungen gesetzt; die verschiedene Höhe des Tones wird durch das stärkere oder schwächere Spannen der Stimmbänder erzielt.

II. Das Licht.

§. 149.

Leuchtende Körper.

Es giebt viele Körper, die von selbst leuchten. Zu diesen **selbstleuchtenden Körpern** gehören: 1) Die Sonne und die Fixsterne. 2) Verbrennende Körper, wie bei unsern gewöhnlichen Kerzen- und Lampenflammen, in denen fein zertheilte Kohle glüht und leuchtet (§. 63, 2); ein sehr helles Licht, wie es auf den Leuchtthürmen gebraucht wird, das sogenannte Siderallicht oder Drummond'sche Kalklicht, giebt Kalk, wenn derselbe in einer Flamme von Sauerstoff und Wasserstoff glüht. Auch verbrennender Magnesiumdrath leuchtet sehr hell. 3) Phosphorescirende Stoffe, welche gleich dem Phosphor bei höchst geringer Wärme im Dunkeln leuchten, z. B. faulendes Holz, der Diamant, wenn er erwärmt wird, ein Stück Zucker, wenn es zerbrochen wird, und weißes Papier, das längere Zeit den Sonnenstrahlen ausgesetzt worden ist. 4) Leuchtende Thiere, wie unser Johanniswürmchen und die Leuchtkäfer in Westindien und Südamerika. 5) Elektrisirte Körper (§§. 17 und 35), besonders Kohlenspitzen, durch die der Strom einer galvanischen Batterie geleitet wird, und die das galvanische Kohlenlicht hervorbringen. Bei Weitem die meisten Körper aber sind **nichtleuchtend** und werden uns dadurch sichtbar, daß sie von selbstleuchtenden, bei Tage von der Sonne, erhellt werden und Licht empfangen; denn nur dann wird uns ein Gegenstand sichtbar, wenn von ihm Licht in unser Auge gelangt.

A. Die geradlinige Verbreitung des Lichts.

§. 150.

Der geradlinige Weg des Lichts.

Wenn in ein dunkles Zimmer durch eine kleine Oeffnung Sonnenlicht fällt, so sehen wir, daß es in dem Zimmer einen geradlinigen Weg zurücklegt. Wir suchen daher stets ohne weitere Ueberlegung einen leuchtenden Körper in gerader Richtung, und durch ein gekrümmtes Rohr können wir Nichts sehen. Den geradlinigen Weg des Lichts nennen wir einen Lichtstrahl.

Das Licht verbreitet sich von den leuchtenden Körpern aus nach allen Seiten in geraden Linien.

Alle nichtleuchtenden Körper theilt man in durchsichtige, welche dem Lichte dem Durchgang gestatten, durchscheinende, wie dünnes Papier oder mattgeschliffenes Glas, welche einiges Licht hindurchlassen, ohne daß man

die Gestalt des leuchtenden Gegenstandes zu erkennen vermag, und undurchsichtige Körper, welche kein Licht hindurchlassen. Wegen der geradlinigen Verbreitung des Lichts wird uns ein leuchtender Körper verdeckt, wenn sich in gerader Linie zwischen ihm und unserem Auge ein undurchsichtiger Gegenstand befindet.

§. 151.

Der Schatten.

1. Entstehung des Schattens. Eine Folge der geradlinigen Verbreitung des Lichts ist der unbeleuchtete Raum hinter jedem beleuchteten, undurchsichtigen Körper, den wir **Schatten** nennen. Kernschatten ist der Raum, welcher gar kein Licht empfängt, Halbschatten der den Kernschatten umgebende Raum, der nur von einigen Punkten des leuchtenden Körpers erhellt wird.

2. Lage des Schattens. Der Schatten liegt stets in gerader Linie mit dem leuchtenden und dem beleuchteten Körper und bewegt sich daher, wenn der leuchtende Körper sich bewegt, in entgegengesetzter Richtung mit demselben. Der Schatten eines Baumes fällt deshalb, während die Sonne am Himmel ihren Tagesbogen von Osten nach Westen beschreibt, am Vormittag nach Westen, indem er desto kürzer wird, je höher die Sonne steigt, am Nachmittag nach Osten und wird zugleich desto länger, je tiefer die Sonne wieder hinabsinkt.

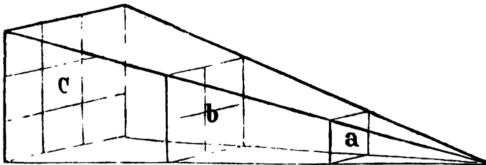
3. Gestalt des Schattens. Die Gestalt des Schattens richtet sich nicht bloß nach der Gestalt des undurchsichtigen Körpers, sondern auch nach der Stellung und Größe des leuchtenden. Ist der leuchtende Körper der kleinere, so nimmt der Schatten mit der Entfernung an Größe zu; ist dagegen der leuchtende Körper größer, als der schattenwerfende, so wird der Schatten in größerer Entfernung immer kleiner.

§. 152.

Die Stärke des Lichts.

Die Beleuchtung ist desto schwächer, je entfernter der leuchtende Körper ist, und je schräger die Lichtstrahlen auffallen.

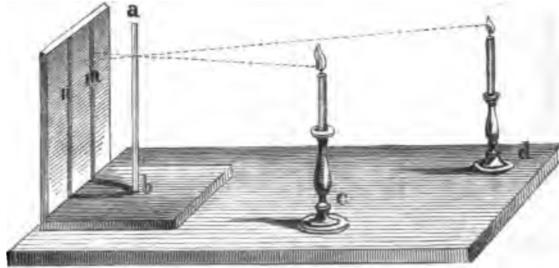
Fig. 129.



Eine Fläche wird in doppelter Entfernung nur 4 Mal, in dreifacher Entfernung 9 Mal weniger hell beleuchtet, weil sich dieselbe Lichtmenge in der doppelten Entfernung über eine 4 Mal so große, in dreifachem Abstande über eine 9 Mal so große Fläche ausbreitet. Die Vorrichtungen zum Messen der Lichtstärke heißen Photometer.

Um die **Lichtstärke zweier Flammen** zu vergleichen, reicht es hin, zwischen ihnen und einer weißen Wand einen undurchsichtigen Körper aufzustellen; an der Wand entstehen zwei Schatten; sind dieselben nicht gleich dunkel, so entfernt man die Flamme, welche den einen Schatten heller beleuchtet, so weit von der Wand, bis beide Schatten gleich dunkel sind; die doppelt so weit von der Wand entfernte Flamme ist dann 4 Mal stärker. Fallen Lichtstrahlen schräg auf eine Fläche, so gehen viele Strahlen vor ihr vorbei, ohne sie zu treffen.

Fig. 130.



§. 153.

Die Geschwindigkeit des Lichts.

Schon Galiläi hatte die Geschwindigkeit des Lichts zu ermitteln gesucht, indem er in meilenweiter Entfernung hellleuchtende Fackeln in bestimmten Zeiträumen verdecken und aufdecken ließ; aber vergebens, man sah das Licht ohne Verschiedenheit an beiden Orten in demselben Augenblicke. Erst im Jahre 1675 fand der dänische Astronom Olof Römer die Geschwindigkeit des Lichts bei der Beobachtung der Jupitersmonde. Die Verfinsterungen dieser 4 Monde trafen nämlich ganz mit den Berechnungen übereinstimmend ein, wenn die Erde in der mittleren Entfernung vom Jupiter stand; sie ereigneten sich aber 8 Minuten früher, wenn die Erde dem Jupiter am nächsten war, und wiederum 8 Minuten später, wenn die Erde in ihrer Bahn sich um 21 Millionen Meilen weiter vom Jupiter entfernt hatte. Die Ursache dieser Erscheinung fand Römer darin, daß das Licht etwa 8 Minuten gebraucht, um den Halbmesser der Erdbahn oder 21 Millionen Meilen zu durchlaufen. Wir erhalten daher das Sonnenlicht in 8 Minuten, das Licht von den Fixsternen erst nach Jahren, und sehen also am Himmel Gegenwärtiges und Vergangenes zugleich.

Die Geschwindigkeit des Lichts beträgt 42000 Meilen in einer Secunde;

sie ist etwa eine Million Mal so groß, als die des Schalles.

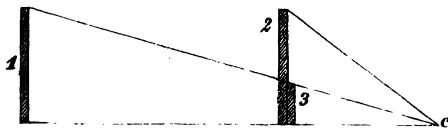
§. 154.

Der Gesichtswinkel und die optischen Täuschungen.

1. Von allen Punkten eines beleuchteten Gegenstandes, daher auch von seinen äußersten Grenzpunkten nach oben und nach unten, nach der rechten

und nach der linken Seite zu, gehen Strahlen aus. Den Winkel, welchen die von zwei gegenüberliegenden Grenzpunkten eines Gegenstandes zu uns gelangenden Strahlen in dem Auge bilden, nennen wir den **Gesichtswinkel**. Je größer bei einerlei Entfernung ein Gegenstand ist, desto größer ist auch sein Gesichtswinkel; in gewohnter oder wenigstens bekannter Entfernung beurtheilen wir daher die Größe eines Gegenstandes nach der Größe seines Gesichtswinkels.

Fig. 131.



2. Je entfernter ein Gegenstand ist, desto kleiner ist sein Gesichtswinkel, und desto kleiner sieht er aus. Ein großer, aber entfernter Gegenstand hat mit einem kleinen, aber nahen, denselben Gesichtswinkel und kann uns durch ihn verdeckt werden. Der Zwischenraum zwischen den entferntesten Bäumen einer Allee oder den letzten Häusern einer langen Straße erscheint uns weit kleiner, so daß die beiden Reihen von Bäumen oder Häusern in der Ferne sich einander zu nähern scheinen. Wird der Gesichtswinkel allzuklein, so verschwindet der Gegenstand dem Auge. Darum sieht man in größerer Entfernung nicht mehr die einzelnen Theile eines Hauses, darum verschwinden für uns die Zwischenräume zwischen den Bäumen eines fernen Waldes, darum sehen wir nie den Stundenzeiger einer Uhr sich bewegen.

3. Da große und kleine Gegenstände in verschiedener Entfernung uns unter demselben Gesichtswinkel erscheinen, so läßt sich aus dem Gesichtswinkel nur dann die Größe derselben richtig beurtheilen, wenn wir ihre Entfernung kennen. Die richtige Beurtheilung der Entfernung aber ist rein Sache der Uebung; wir achten dabei 1) auf die zwischen uns und dem Gegenstande befindlichen Dinge, 2) auf die Helligkeit und Deutlichkeit des beobachteten Gegenstandes und halten ihn für desto näher, je weniger Gegenstände wir in dem Raume zwischen ihm und uns bemerken, und je heller er erscheint. Aus falscher Beurtheilung der Entfernung entsteht eine falsche Beurtheilung der Größe, und daraus erklären sich die irrigen Meinungen über Gesehenes, die wir **optische Täuschungen** nennen. So erscheinen uns bei der helleren Beleuchtung durch den Schnee die Ortschaften einer Winterlandschaft zu nahe; den Mond halten wir bei seinem Aufgange, da die dichteren Luftschichten der unteren Atmosphäre sein Licht schwächen und zugleich viele Gegenstände die Horizontalebene bis zu ihm hin erfüllen, für zu entfernt und darum für zu groß; das Himmelsgewölbe erscheint uns etwas herabgedrückt, weil die über uns befindlichen Luftschichten durchsichtiger und heller sind, als die am Horizont; überhaupt schätzen wir alle Höhen für zu niedrig und halten daher das Zifferblatt oder das Kreuz auf einem Thurme für viel zu klein.

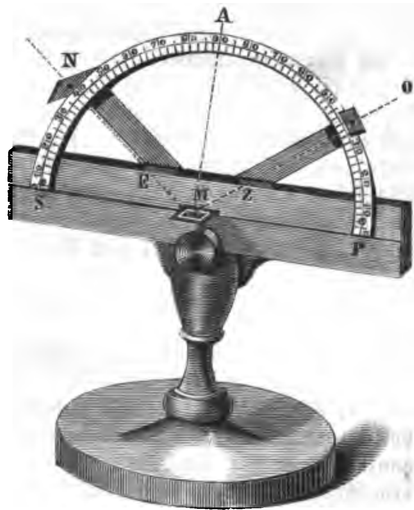
B. Die Zurückwerfung des Lichts.

§. 155.
Aufnahme und Zurückwerfung des Lichts.

Alle undurchsichtigen Körper hindern das Licht, seinen geradlinigen Weg weiter fortzusetzen; doch ist ihr Verhalten gegen die Lichtstrahlen sehr verschieden. 1) Entweder werden die Lichtstrahlen von der Oberfläche eines undurchsichtigen Körpers zurückgeworfen, gleich einem zurückprallenden Balle, den Wasser- und Schallwellen. Diese Zurückwerfung des Lichts geschieht desto vollkommener, je glatter die Oberfläche eines Körpers ist; polirtes Metall, polirtes Holz, der Wasserspiegel über seinem undurchsichtigen Grunde, auf der Rückseite belegtes Glas werfen daher die Sonnenstrahlen zurück und blenden das Auge, indem sie ihm dieselben zusenden. Einen undurchsichtigen Körper mit möglichst glatter Oberfläche nennen wir einen **Spiegel.** Nach ihrer Form unterscheidet man gewöhnliche ebene, erhabene und Hohlspiegel. 2) Von den meisten undurchsichtigen Körpern wird das auf sie fallende Licht zum Theil aufgenommen oder absorbirt, zum Theil zurückgeworfen, und durch diese theilweise Zurückwerfung werden sie uns sichtbar. 3) Einige undurchsichtige Körper endlich, z. B. Kienruß, nehmen fast alle Lichtstrahlen auf und werfen fast gar keine zurück; sie erscheinem dem Auge daher schwarz, wie der Schatten.

§. 156.
Hauptgesetze für die Zurückwerfung des Lichts.

Fig. 132.



Wenn man in ein verfinstertes Zimmer durch die Oeffnung eines Fensterladens einen Lichtstrahl auf einen ebenen Spiegel fallen läßt, so nimmt man deutlich den vom Spiegel zurückgeworfenen Strahl wahr. Befestigt man nun rechtwinklig auf den Spiegel ein ebenes Brett, längs dessen einer Seite oder in dessen Ebene der einfallende Sonnenstrahl seinen Weg bis zum Spiegel nimmt, so zeigt sich, daß auch der zurückgeworfene Strahl nicht etwa nach der rechten oder linken Seite hin abweicht, sondern

I. **der zurückgeworfene Strahl bleibt mit dem einfallenden Strahle in derselben, auf dem Spiegel senkrechten Ebene.**

Befestigt man in dieser Ebene statt des Brettes einen in Grade getheilten Halbkreis so an den Spiegel,

daß der Sonnenstrahl in seinem Mittelpunkte auf den Spiegel fällt, so ergiebt sich:

II. **Der zurückgeworfene Strahl bildet mit der Spiegelfläche denselben Winkel, wie der einfallende Strahl.**

Versuche lehren, daß diese beiden Gesetze für alle Arten von Spiegeln gelten.

§. 157.

Ebene Spiegel.

1. Der gewöhnliche Spiegel besteht aus einer Glasscheibe, die auf der Rückseite mit einer Auflösung von Zinn in Quecksilber belegt ist; diese Belegung bildet die spiegelnde Fläche. Da alle Spiegel die Lichtstrahlen in derselben Ordnung zurückwerfen, in welcher sie dieselben empfangen, so entstehen durch einen Spiegel **Bilder** der ihm Lichtstrahlen zusendenden Gegenstände. Die Bilder eines ebenen Spiegels scheinen so weit hinter demselben zu stehen, als die Gegenstände vor demselben von der Spiegelfläche entfernt sind, und sind den Gegenständen an Größe vollkommen gleich. In einem schrägstehenden, unter einem Winkel von 45 Grad geneigten Spiegel erscheint ein aufrecht stehender Gegenstand in liegender Stellung, und umgekehrt ein liegender Gegenstand aufrecht stehend.

2. Das in einem Spiegel entstandene Bild kann durch einen anderen Spiegel wieder zurückgeworfen werden. Stehen einander zwei **parallele Spiegel** gegenüber, so würden von einem zwischen ihnen stehenden Gegenstande unzählig viele Bilder entstehen, wenn die Bilder nicht mit jeder Zurückwerfung, gleich dem zwischen zwei Wänden entstandenen Echo, immer schwächer würden. Bei **Winkelspiegeln**, zwei ebenen Spiegeln, die unter einem Winkel an einander stoßen, ist die Zahl der Bilder desto größer, je kleiner ihr Winkel ist. Eine Anwendung der Winkelspiegel ist das Kaleidoskop; es besteht aus zwei unter einem Winkel zusammengestellten und von einer Röhre umschlossenen Spiegeln; an dem einen Ende der Röhre befindet sich eine Kapsel aus zwei Glasscheiben mit farbigen Steinchen und Glasstückchen; beim Umdrehen der Röhre erblickt das hineinschauende Auge immer neue symmetrische, sternförmige Gruppirungen der Steinchen, welche sich zu Mustern für Weber oder Tapetenfabrikanten eignen.

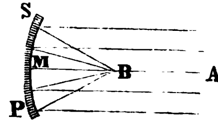
§. 158.

Hohlspiegel.

1. Der Hohlspiegel ist ein verhältnißmäßig kleines Stück einer inwendig polirten Kugelfläche. Eine gerade Linie, die man sich vom Mittelpunkte der ganzen Kugel nach der Mitte des Spiegels gezogen denkt, steht mitten auf dem Spiegel senkrecht und heißt die Axe des Spiegels. Wenn man den Hohlspiegel gegen die Sonne richtet, so daß die Sonnenstrahlen parallel mit der Axe auffallen, und man die zurückgeworfenen Strahlen durch eine kleine

Scheibe auffängt, so zeigt sich auf derselben ein heller Kreis, in welchem durch den Hohlspiegel die Sonnenstrahlen vereinigt werden. Hält man die kleine Scheibe in solcher Entfernung, daß der helle Kreis möglichst klein wird und fast als ein Punkt erscheint, so werden in diesem Punkte, der in der Axe liegt, alle auf den Spiegel fallenden Sonnenstrahlen vereinigt und bewirken darum in demselben, dem Brennpunkte B, eine Hitze, durch welche Papier oder Holz in Brand gerathen.

Fig. 133.

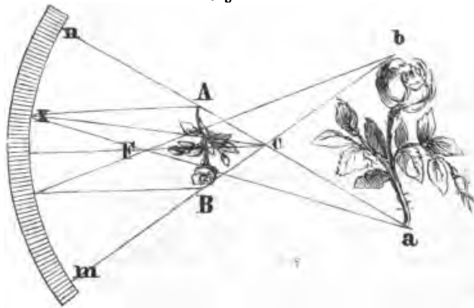


Der Hohlspiegel wirkt darum als **Brennspiegel**, weil alle mit der Axe parallelen Strahlen nach dem Brennpunkte zurückgeworfen werden.

Bringt man dagegen in dem Brennpunkte eine Lichtflamme an, so wird durch den Spiegel die Beleuchtung verstärkt.

Der Hohlspiegel dient als **Beleuchtungsspiegel**, weil alle aus seinem Brennpunkte auf ihn fallenden Strahlen parallel mit der Axe zurückgeworfen werden.

Fig. 134.



Daher die Anwendung des Hohlspiegels auf Leuchtthürmen und der hohlen polirten Metallbleche an Laternen und Wandleuchtern.

2. Was für **Bilder** der Hohlspiegel giebt, findet man leicht, wenn man in verschiedenen Entfernungen vor ihm eine Lichtflamme oder einen andern hell beleuchteten Gegenstand aufstellt. Bei großer Entfernung des Gegenstandes durchkreuzen sich die zurückgeworfenen Strahlen im Brennpunkte, und deshalb

entsteht von einem entfernten Gegenstande ein umgekehrtes und verkleinertes Bild vor dem Hohlspiegel, in der Nähe des Brennpunktes. Nähert sich der Gegenstand dem Brennpunkte, so erscheint das umgekehrte Bild entfernter und größer.

Da das Bild sich nicht bloß auf einem Blatt Papier auffangen läßt, sondern sogar frei in der Luft schwebend erscheint, so ist der Hohlspiegel zur Darstellung von Geistererscheinungen gemißbraucht worden.

Ist der Gegenstand im Brennpunkte selbst, so entsteht gar kein Bild, weil alle Strahlen parallel zurückgeworfen werden.

Befindet sich der Gegenstand endlich zwischen dem Brennpunkte und dem Spiegel, so erscheint das Bild, wie bei einem ebenen Spiegel, hinter dem Hohlspiegel und aufrecht, aber vergrößert.

§. 159.

Erhabene Spiegel.

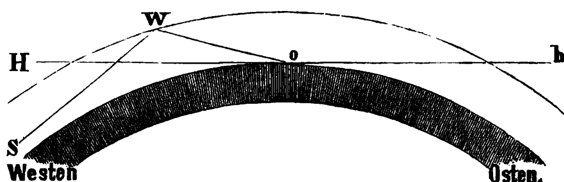
Erhabene Spiegel, wie die Glaskugeln in Gärten sind, zerstreuen die mit der Axe parallel auffallenden Strahlen. Von allen Gegenständen erscheinen in ihnen aufrechte, verkleinerte Bilder, und zwar desto kleiner, je kleiner die spiegelnde Kugel, und je entfernter die Gegenstände sind.

§. 160.

Abend- und Morgendämmerung.

Wenn die Sonne untergeht und uns auf geradem Wege kein Licht mehr zusenden kann, so würde plötzlich die Finsterniß der Nacht hereinbrechen, wenn die Erde nicht von der Atmosphäre umgeben wäre. Die Abenddämmerung, der allmähliche Uebergang von der Tageshelle zum Dunkel der Nacht, rührt daher, daß die Luft W am westlichen Himmel sammt den in ihr schwebenden Wasserdämpfen noch lange von den Strahlen der untergehenden Sonne SW getroffen wird, dieselben WO nach Art eines Spiegels zurückwirft und uns zusendet. Ebenso werfen am Morgen die Luftschichten des östlichen Himmels uns bereits Sonnenlicht zu, ehe dasselbe auf geradem Wege zu uns gelangen kann.

Fig. 135.



C. Die Brechung des Lichts.

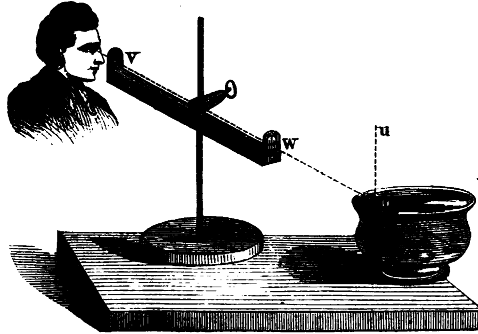
§. 161.

Das Gesetz für die Brechung des Lichts.

1. Beim Nachdenken über das Fernrohr kam der berühmte Astronom Kepler 1611 auf eine Vorrichtung, welche zeigt, daß der Weg des Lichts aus der Luft durch Glas hindurch ein ganz anderer ist, als bloß durch die Luft. Er befestigte hinter ein senkrecht stehendes Brett einen eben so hohen Glaswürfel und stellte diese Vorrichtung in die Sonne; da wurde der Schatten des Brettes in dem Glaswürfel kürzer, als neben ihm in der Luft; die Lichtstrahlen änderten also in dem Glase ihre Richtung und wurden nach dem senkrecht stehenden Brette hingelenkt.

2. Fast um dieselbe Zeit stellte der Holländer Snell einen ähnlichen Versuch an; auf den Boden eines Metallgefäßes legte er eine Münze und stellte sich so, daß dieselbe durch den oberen Rand des Gefäßes dem Auge gerade verdeckt ward. Die Richtung, in der das Licht in das Auge gelangt, kann man durch ein dazu eingerichtetes Lineal feststellen. Als nun Wasser

Fig. 136.



in das Gefäß gegossen wurde, wurde die Münze dem Auge von demselben Standpunkte aus sichtbar, als wäre sie durch die Flüssigkeit emporgehoben; die von der Münze aus dem Wasser in die Luft tretenden Lichtstrahlen wurden demnach von der senkrechten Richtung abgelenkt.

3. Ein schräg in ein Glas Wasser gehaltener Stab erscheint gebrochen, ein senkrecht hineingestellter nicht.

Wenn folglich ein Lichtstrahl aus einem durchsichtigen Stoffe in einen anderen übergeht, so ändert er seine Richtung nicht, falls er senkrecht auffällt. Den senkrecht auffallenden Strahl nennt man das Einfallsloth für den getroffenen Punkt. Sobald aber ein Lichtstrahl schräg auf einen anderen durchsichtigen Stoff auffällt, ändert er seine Richtung oder **wird gebrochen.** Das Hauptgesetz für die Brechung des Lichts ist:

> **Geht ein Lichtstrahl schräg in einen dichteren durchsichtigen Körper über, so wird er in diesem dem Einfallslothe zu gebrochen; geht er in einen dünnern Körper über, so wird er in diesem vom Einfallslothe hinweg gebrochen;**

in beiden Fällen aber bleibt der gebrochene Strahl mit dem einfallenden und dem Einfallslothe in derselben Ebene.

§. 162.

Brechung durch ebene Glasscheiben.

Wie bei der Zurückwerfung des Lichts ebene, erhabene und Hohlspiegel verschiedene Erscheinungen bewirken, so werden die Lichtstrahlen bei ihrem

Durchgange durch ebene Glasscheiben anders gebrochen, als durch erhabene und durch Hohlgläser.

Beim Durchgange durch ebene Glasscheiben ist der austretende Strahl parallel mit dem einfallenden, weil dieser beim Eintritt eben so sehr nach dem Einfallslothe hin, als jener beim Austritt von ihm hinweg gebrochen wird. Sind die Glasscheiben von geringer Dicke, wie unsere Fensterscheiben, so ist kaum eine Brechung des Lichts wahrzunehmen.

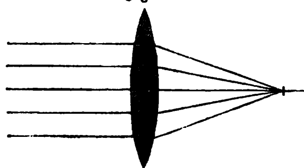
§. 163.

Erhabene Gläser.

1. Höchst wichtige Erscheinungen der Brechung bieten Gläser mit kugelförmig gekrümmten Oberflächen, die nach ihrer Gestalt auch Linsen genannt werden. Sie sind entweder in der Mitte dicker, als am Rande, und gewöhnlich auf beiden Seiten erhaben geschliffen und heißen dann **erhabene Gläser** oder **Convexlinsen;** oder sie sind in der Mitte dünner, als am Rande, und gewöhnlich auf beiden Seiten kugelförmig vertieft und heißen **Hohlgläser** oder **Concavlinsen.**

2. Die Wirkungen erhabener Gläser haben Aehnlichkeit mit denen der Hohlspiegel. Richtet man ein erhabenes Glas gegen die Sonne, so daß die Sonnenstrahlen parallel mit der Axe auffallen, und fängt man die durch das Glas gebrochenen Strahlen durch ein Blatt Papier auf, so zeigt sich darauf ein blendend heller Kreis, in welchen durch das Glas die Strahlen vereinigt werden. Hält man das Glas in solcher Entfernung von dem Papier, daß der helle Kreis sich zu einem lichten Punkte verkleinert, so befindet sich das Papier in dem Brennpunkte des Glases und wird sich entzünden.

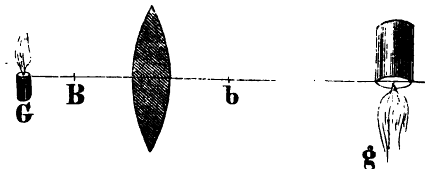
Fig. 137.



Die erhabene Linse wirkt darum als **Brennglas,** weil alle mit der Axe parallelen Strahlen so gebrochen werden, daß sie sich in dem Brennpunkte vereinigen.

3. Um die durch erhabene Gläser hervorgebrachten **Bilder** zu beobachten, wählt man als abzubildenden Gegenstand wieder eine Lichtflamme

Fig. 138.



oder hell beleuchtete Gegenstände. Bei großer Entfernung des Gegenstandes durchkreuzen sich die gebrochenen Strahlen im Brennpunkte, und es

entsteht von einem entfernten Gegenstande durch ein erhabenes Glas ein umgekehrtes und verkleinertes Bild in der Nähe des Brennpunktes. Bei der Annäherung des Gegenstandes wird dieses Bild weiter von dem Glase entfernt und größer.

Dies Bild ist ein wirkliches Abbild des Gegenstandes und läßt sich, wie beim Hohlspiegel, auf einem Blatt Papier auffangen.

Ist der Gegenstand dem Glase so nahe gerückt, daß er sich in dem einen Brennpunkte desselben befindet, so entsteht kein Bild, weil die Strahlen durch die Brechung parallel werden, also nirgends eine Vereinigung zu einem Bilde stattfindet.

4. Bringt man das erhabene Glas einer Kerzenflamme oder der Schrift eines Buches noch näher, so daß die Gegenstände sich zwischen dem Glase und seinem einen Brennpunkte befinden, so entsteht ebenfalls kein auffangbares Bild; aber

jeder zwischen dem erhabenen Glase und seinem einen Brennpunkte befindliche Gegenstand erscheint dem hindurchsehenden Auge aufrecht, vergrößert und in weiterer Entfernung.

Daher dient das erhabene Glas, besonders wenn sein Brennpunkt ihm nahe liegt, als **Vergrößerungsglas** bei der Betrachtung kleiner, naher Gegenstände und wird dann auch Loupe oder einfaches Mikroskop genannt.

§. 164.

Hohlgläser.

Hohlgläser oder Concavlinsen zerstreuen, gleich den erhabenen Spiegeln, die parallel mit der Axe auffallenden Strahlen.

Durch ein Hohlglas betrachtet, erscheinen alle Gegenstände aufrecht, verkleinert und näher.

Da wir aber von kleiner erscheinenden Gegenständen gern urtheilen, daß sie entfernter sind, so muß man den wirklichen Ort der Gegenstände und den, wo sie durch die Hohllinse erscheinen, sorgfältig und unmittelbar nach einander vergleichen und wird finden, daß sie uns durch das Glas näher gebracht scheinen.

§. 165.

Die astronomische Strahlenbrechung und die Fata Morgana.

1. **Die astronomische Strahlenbrechung.** Da die Luftschichten von oben nach der Erdoberfläche zu an Dichte zunehmen, so geht jeder von einem Himmelskörper zu uns kommende Lichtstrahl durch Stoffe von verschie-

dener Dichte und muß, wenn er schräg hindurchgeht, in jeder Luftschicht eine kleine Brechung erleiden. Da er in immer dichtere Schichten eintritt, so wird er gegen das Einfallsloth hin gebrochen und erhält eine der senkrechten näher kommende Richtung. Daher **erscheinen uns die meisten Sterne etwas zu hoch stehend;** daher sehen wir Sonne und Mond, wenn sie bereits untergegangen sind, und ehe sie aufgehen; daher hat man bei einer Mondfinsterniß, da die Erde sich in gerader Linie zwischen Sonne und Mond befindet, diese beiden Himmelskörper zugleich über dem Horizont gesehen.

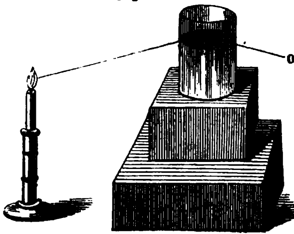
2. **Die Fata Morgana.** Auch bei entfernten irdischen Gegenständen tritt die Strahlenbrechung ein und macht zuweilen Gegenstände sichtbar, die unter dem Horizont liegen. So hat man von England aus die französische Küste gesehen, und so entsteht die Erscheinung der Fata Morgana, indem eine ungewöhnlich starke Strahlenbrechung den Bewohnern von Reggio in Unteritalien Schlösser, Thürme und Bäume sichtbar werden läßt, die in der Stadt Messina und deren Umgebung stehen.

§. 166.

Die vollständige Zurückwerfung und die Luftspiegelung.

1. **Die vollständige Zurückwerfung.** Wenn ein schräg auffallender Lichtstrahl in einen weniger dichten Stoff übergeht, so wird er vom Einfallslothe hinweg gebrochen. Ein Strahl, der im Wasser um wenig mehr, als die Hälfte eines rechten Winkels vom Einfallslothe abweicht, weicht in der Luft schon um einen rechten Winkel von ihm ab und bewegt sich wagerecht, längs der Wasseroberfläche. Bringt man auswendig an ein Glas Wasser einen Schlüssel, so wird er von dem lothrecht über dem Glase befindlichen Auge nicht gesehen; die von dem Schlüssel ausgehenden Strahlen bilden mit dem Einfallslothe einen zu großen Winkel und können nicht oben aus dem Wasser austreten. Liegt der Wasserspiegel in einem Glase wenig höher, als eine Kerzenflamme, so gelangen ebenfalls keine Strahlen von dem Licht durch das Wasser nach oben; aber ein mit der Flamme in wagerechter Linie auf der andern Seite befindliches Auge o sieht emporschauend ein sehr helles Bild der Flamme. Da keiner der zu schrägen Lichtstrahlen oben in die Luft austreten kann, werden sie vollständig von der Wasseroberfläche zurückgeworfen. Eine Anwendung dieser vollständigen inneren Zurückwerfung wird beim Schleifen der Edelsteine gemacht, die derselben ihren Glanz verdanken.

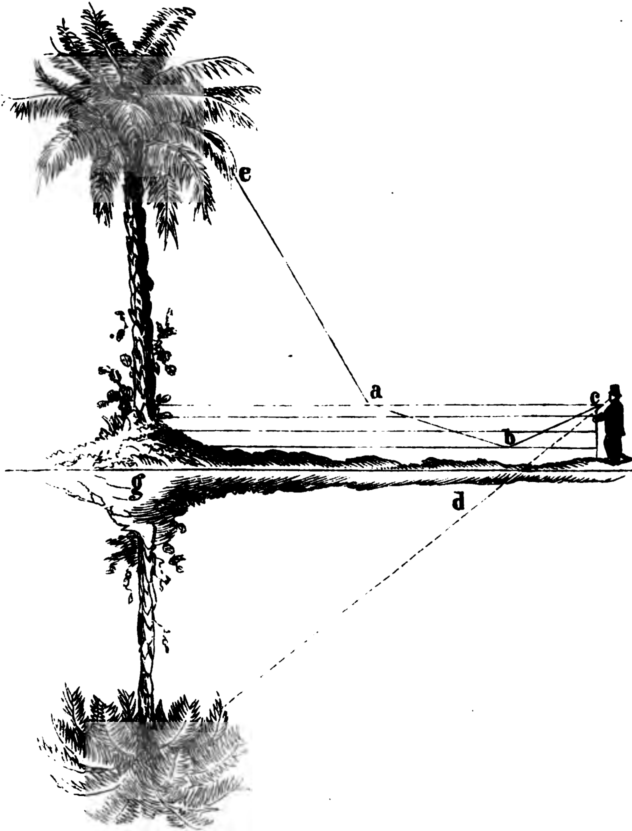
Fig. 139.



2. **Die Luftspiegelung** über weiten Landstrecken und über dem Meere ist eine Folge der Brechung und vollständigen Zurückwerfung der Lichtstrahlen durch die unteren Luftschichten. In den großen Ebenen Asiens und Afrika's, wo der Erdboden durch die senkrecht auffallenden

Sonnenstrahlen stark erhitzt ist, sind nicht selten an windstillen Tagen die untersten Luftschichten durch die Wärme des Bodens dünner geworden, als die höheren. Dann werden die von fernen Gegenständen abwärts gehenden Strahlen so gebrochen, daß sie fast wagerecht auffallen und von der untersten Luftschicht vollständig zurückgespiegelt werden. Daher erblickt

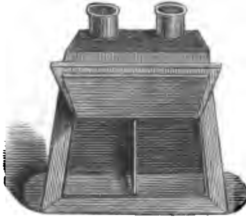
Fig. 140.



man in der Ferne die Gegenstände selbst vermöge der auf gewöhnlichem Wege unmittelbar in's Auge gelangenden Strahlen und darunter ihr Spiegelbild, verkehrt, wie in einem großen Meere. — Ueber dem Meere nimmt man, wenn die oberen Luftschichten sehr dünn geworden, das Spiegelbild über dem Gegenstande wahr.

sähen, dient **das Stereoskop** (d. h. Körperseher). Ein inwendig geschwärzter Kasten ist auf der einen Seite offen, damit Licht eindringen und man an der von den Augen betrachteten Seite Bilder einschieben könne. Die zwei stereoskopischen Bilder und stellen den Gegenstand so dar, wie er jedem Auge einzeln erscheint. Jedes Auge sieht das für dasselbe gezeichnete Bild durch eine der zwei Röhren, welche in die den Zeichnungen gegenüberliegende Wand des Stereoskops eingesetzt sind. Damit die einander entsprechenden Stellen der Bilder sich für die beiden Augen decken, sind in die Röhren die beiden Hälften einer längs eines Durchmessers durchgeschnittenen, doppelt erhabenen Linse so eingesetzt, daß die Schnittflächen von einander abgewandt sind. Diese Linsenhälften vergrößern das Bild etwas und lenken das zur Linken befindliche Bild etwas nach rechts und das zur Rechten befindliche Bild eben so weit nach links ab; die Augen erhalten denselben Eindruck, den ein Körper, der aber etwas entfernter ist, auf sie machen würde.

Fig. 143.



§. 168.

Das zusammengesetzte Mikroskop.

Das zusammengesetzte Mikroskop ist 1590 durch den Brillenmacher Zacharias Jansen in Holland erfunden worden. In seiner einfachsten

Fig. 144.

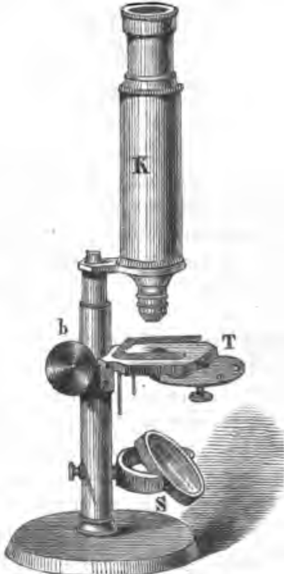
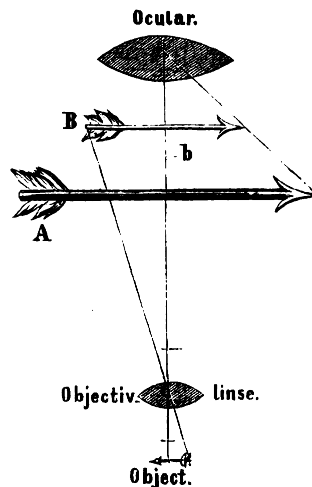


Fig. 145.



Gestalt besteht es aus zwei erhabenen Linsen, von denen die dem Gegenstande oder Object zugewandte das Objectivglas heißt, und die andere, durch welche das Auge hindurchsieht, das Ocular genannt wird.

Durch das stark gewölbte Objectivglas des Mikroskops entsteht ein vergrößertes, umgekehrtes Bild des kleinen nahen Gegenstandes, und dies Bild wird für das Auge noch durch das Ocular vergrößert.

Gewöhnlich sind beide Gläser in einer Röhre befestigt, die in senkrechter Richtung aufgestellt ist. An dem unteren Ende befindet sich das Objectivglas und unter ihm der zu vergrößernde Gegenstand, der durch eine seitwärts angebrachte erhabene Beleuchtungslinse oder durch einen darunter aufgestellten Hohlspiegel S mehr Licht und Deutlichkeit erhält; häufig enthält das Mikroskop noch ein zweites Ocularglas, wodurch das Bild an Schärfe gewinnt. Es bewirken zusammengesetzte Mikroskope eine hundertfache bis fünfhundertfache Vergrößerung, und sie haben zur Entdeckung der Infusionsthierchen und zu wichtigen Aufschlüssen über den wunderbar regelmäßigen Bau der Pflanzen und Thiere geführt.

§. 169.

Die Fernröhre.

Die **Teleskope** oder **Fernröhre**, die dem Astronomen, Seefahrer und Feldherrn unentbehrlich geworden, sind wahrscheinlich von dem Erfinder des zusammengesetzten Mikroskops, Zacharias Jansen zu Middelburg, erfunden; nachdem er früher schon kleinere Fernröhre gefertigt, gelang es ihm 1609, größere zusammenzustellen. Da sich der Prinz Moritz von Nassau von der Erfindung bedeutende Vortheile für den Krieg versprach, belohnte er Jansen reichlich, mit dem Befehl, die Zusammensetzung des Fernrohrs geheim zu halten. Allein ein Fremder, der nach Middelburg kam, um Jansen aufzusuchen, gerieth irrthümlicher Weise in das Haus eines andern Brillenmachers, Johannes Lipperseim, und gab diesem so viel Andeutung über das Geheimniß, daß er bald ein ähnliches Fernrohr zusammensetzte und, ohne die Wichtigkeit der Erfindung zu ahnen, den Vorübergehenden die Wetterfahne auf dem Kirchthurm durch das Instrument vergrößert zeigte.

In den Fernröhren wird durch ein großes, erhabenes Objectivglas oder einen großen Hohlspiegel ein Bild des fernen Gegenstandes entworfen, und dies Bild wird für das Auge noch durch das Ocular vergrößert.

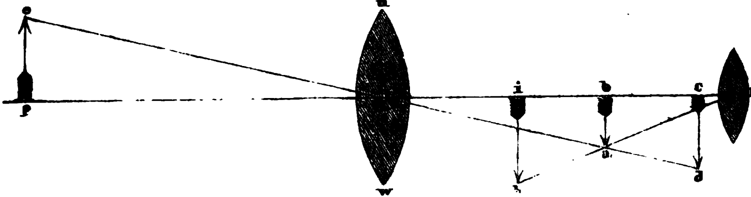
Es giebt daher zwei Klassen von Teleskopen, solche mit Objectivgläsern, die schlechthin Fernröhre heißen, und solche mit Hohlspiegeln, welche Spiegelteleskope genannt werden.

I. Fernröhre mit Objectivgläsern.

1. **Das astronomische Fernrohr** hat große Aehnlichkeit mit dem Bau des zusammengesetzten Mikroskops. Durch sein großes, wenig gewölbtes

Objectivglas entsteht von einem Himmelskörper ein umgekehrtes Bild ab zwischen dem Ocular und dessen Brennpunkte, und dies Bild wird durch das Ocular betrachtet und vergrößert.

Fig. 146.

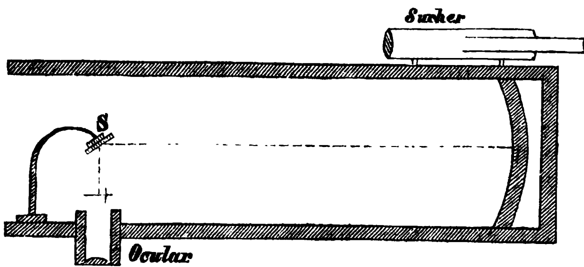


2. Das **Erdfernrohr** ist aus einem Objectivglase und aus drei Oculargläsern zusammengesetzt, die ein zusammengesetztes Mikroskop bilden. Das Ojectivglas entwirft ein umgekehrtes Bild eines fernen Gegenstandes auf der Erde, und von diesem Bilde wird durch das Mikroskop (durch die Ocurlargläser) ein zweites, wiederum umgekehrtes Bild entworfen und vergrößert. Während daher im astronomischen Fernrohr die Gegenstände umgekehrt erscheinen, stellen sie sich durch ein Erdfernrohr in Folge der zweimaligen Umkehrung aufrecht dar.

II. **Spiegelteleskope.**

In den Spiegelteleskopen, denen wir die meisten Entdeckungen in der Astronomie verdanken, wird das Bild des fernen Gegenstandes durch einen Hohlspiegel entworfen. Es erscheint in einem kleinen, nahe der Oeffnung des Rohres in schräger Stellung angebrachten ebenen Spiegel S und wird von der Seite her durch ein erhabenes Ocularglas betrachtet und vergrößert. Um das Spiegelteleskop auf den zu betrachtenden Gegenstand leichter richten und ihn aufsuchen zu können, ist auswendig an das große Rohr, mit ihm gleichlaufend, ein kleineres Fernrohr befestigt, welches man den Sucher nennt.

Fig. 147.



§. 170.

Der Guckkasten und das Kosmorama.

Der gewöhnliche **Guckkasten** enthält an seiner Vorderwand eine erhabene Linse und ihr gegenüber an der schrägen Hinterwand einen ebenen Spiegel; unten in den Guckkasten werden Abbildungen von Landschaften wagerecht und für das beschauende Auge verkehrt gelegt; sie erscheinen in dem

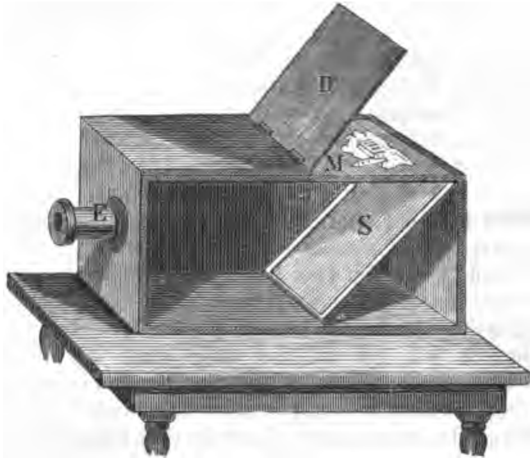
schrägen Spiegel (nach §. 157, 1) aufrecht und stellen sich, wenn man ihr Bild im Spiegel durch die Linse betrachtet, aufrecht und vergrößert dar. Das **Kosmorama** ist nichts Anderes, als eine Gruppe neben einander aufgestellter großer Guckkasten mit sauber gemalten Bildern; diese stellen interessante Gegenden treu nach der Natur dar und gewähren für die Weltkunde lehrreiche Anschauungen. Im Diorama und im Panorama stellen die Gemälde die Gegenstände in natürlicher Größe dar; im Panorama ist ein Rundgemälde von einer Stadt oder Landschaft kreisförmig um den Beschauer aufgestellt; im Diorama dagegen ist das Hauptgemälde in einen Rahmen gefaßt, ist durchscheinend und kann mittels dahinter angebrachter, farbiger Vorhänge eine verschiedenartige Beleuchtung erhalten.

§. 171.

Die Camera obscura, die Daguerreotypen und die Photographien.

1. Die Camera obscura ist ein Kasten, der in der Mitte der einen Seitenwand eine Röhre mit einer erhabenen Linse enthält; ihr gegenüber ist in schräger Stellung ein ebener Spiegel angebracht, welcher das durch die Linse von entfernten Gegenständen entworfene, niedliche Bild nach oben wirft; oben aber bedeckt den Kasten ein mattgeschliffenes Glas oder ein Stück Seidenpapier, auf welchem die Bilder sich zeigen.

Fig. 148.



2. Längst schon wußte man, daß das Sonnenlicht, z. B. beim Bleichen der Farbestoffe, chemische Zersetzungen bewirkt, und strebte danach, mittels dieser zersetzenden Kraft des Lichts die Bilder der Camera obscura festzuhalten. Erst nach äußerst mühsamen Versuchen ist dies 1839 dem Decorationsmaler Daguerre in Paris gelungen. Das Material, auf welchem die Daguerre'schen **Lichtbilder** oder **Daguerreotypen** dargestellt werden, ist eine versilberte Kupferplatte. Das ganze Verfahren besteht in 5 Operationen: 1) dem Poliren der Platte, 2) dem Jodiren derselben, 3) der Einwirkung des Lichts, 4) dem Amalgamiren mit Quecksilber und 5) dem Entfernen des Jod. Die Kupferplatte wird unmittelbar vor dem Gebrauche höchst sorgfältig gereinigt und polirt; dann wird sie auf eine viereckige Porcellanschale mit Jod gelegt; aus dieser steigen Joddämpfe auf, setzen sich an die Platte und geben ihr eine goldgelbe oder

violette Farbe. Nun stellt man die jodirte Platte in die Camera obscura, welche zu diesem Gebrauche keinen Spiegel enthält, so der Linse gegenüber, daß sie das durch die Linse entworfene Bild genau auffängt. An den helleren Stellen des Bildes wird durch die stärkere Einwirkung des Lichts das Jod von der Platte abgelöst, wozu meistentheils nur wenige Augenblicke erforderlich sind. Legt man nunmehr die Platte auf ein mit Quecksilber überzogenes, erwärmtes Metallblech, so setzt sich Quecksilber in feinen Kügelchen an die hellen Stellen des Bildes, die durch das Licht von dem Jodüberzug befreit sind, und es zeigt sich jetzt ein deutlich ausgeprägtes Bild. Um das noch an der versilberten Platte haftende Jod zu entfernen, taucht man sie endlich in eine Lösung von unterschwefligsaurem Natron oder in heißes Salzwasser. Die Zeichnung des Bildes hat zum dunklen Hintergrunde Silber, und das Bild selbst wird durch Quecksilber gebildet; die Daguerreotypen sind somit in Folge der Einwirkung des Lichts auf Jod hervorgebrachte Bilder aus Quecksilber auf silbernem Grunde.

3. **Photographien.** Auch die Photographien (d. h. Lichtzeichnungen) beruhen darauf, daß Jodsilber durch das Licht zersetzt wird in Jod und in Silber, das als schwarzes, glanzloses Pulver erscheint. Der Photograph stellt zuerst ein **negatives Bild** mittels der Camera obscura und nachher mit Hülfe des negativen Bildes ein **positives Bild** durch unmittelbare Einwirkung des Tageslichts her. Ein negatives Bild ist ein solches, auf welchem die hellen Stellen des Gegenstandes dunkel, und die dunklen Stellen des Gegenstandes hell erscheinen, oder ein Bild mit umgekehrter Vertheilung von Licht und Schatten; ein positives Bild ist ein solches, auf welchem sich die hellen Stellen des Gegenstandes hell und die dunklen dunkel darstellen, oder ein Bild, das hinsichtlich der Vertheilung von Licht und Schatten mit dem Gegenstande übereinstimmt. **Das negative Bild** wird auf folgende Weise angefertigt. Zuerst gießt der Photograph in einem dunklen Raume auf eine Glasplatte jodsilberhaltiges Collodium*) und läßt diese Flüssigkeit sich über die ganze eine Seite der Glasplatte ausbreiten. Zweitens wird die Glasplatte in einen mit einem Schieber versehenen Rahmen gelegt; dieser wird in die Camera obscura geschoben und der Schieber aufgezogen; die Einwirkung des Lichts dauert wenige Secunden und hat die Zersetzung des Jodsilbers zur Folge, welche am vollständigsten da eintritt, wo sich die hellsten Stellen des Gegenstandes abbilden. Zum Dritten schließt der Photograph den Rahmen des Schiebers, trägt ihn mit der Glasplatte wieder in sein verfinstertes Arbeitszimmer und ruft das Bild hervor, indem er die Glasplatte mit Pyrogallussäure übergießt. Diese veranlaßt, daß das Jod sich von den durch das Licht getroffenen Stellen ablöst und das Silber als schwarzer Körper zurückbleibt. Je heller eine Stelle des Gegenstandes ist, desto mehr Licht hat sie ausgesandt, und desto vollständiger hat dasselbe an der entsprechenden Stelle des Bildes das Jodsilber zersetzt; desto vollständiger ist an solchen Stellen durch die Säure das Jod entfernt und das dunkle Silber übrig

*) Collodium ist eine Flüssigkeit, die durch Auflösung von Schießbaumwolle in Schwefeläther dargestellt wird.

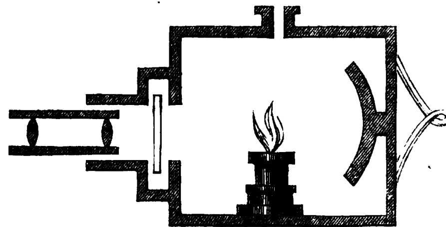
geblieben. **Viertens** wird das nicht zersetzte Jodsilber durch **Abwaschen** mit unterschwefligsaurem Natron entfernt und so das negative Bild der ferneren Einwirkung des Lichts entzogen oder **fixirt**. — Das fixirte negative Bild dient zur Anfertigung der **positiven Bilder.** Mit Kochsalzlösung getränktes **Papier** wird in eine Auflösung von salpetersaurem Silberoxyd getaucht; das **Chlorsilber**, welches in Folge dieses Verfahrens das Papier bedeckt, ist für die Einwirkung des Lichts eben so empfindlich, wie Jodsilber. Das mit Chlorsilber getränkte Papier wird in einem Copirrahmen unter die Glasplatte mit dem negativen Bilde gelegt und dem Tageslicht so ausgesetzt, daß das Licht nur durch die Glasplatte zum Papier gelangen kann. Durch die hellen Stellen des negativen Bildes dringt das meiste Licht, an ihnen wird das meiste Chlorsilber auf dem Papier zersetzt, und sie werden am dunkelsten; die dunklen Stellen des negativen Bildes lassen kein Licht durch, und deshalb bleiben die entsprechenden Stellen auf dem Papier hell. So entsteht auf dem Papier ein Bild mit naturgemäßer Vertheilung von Licht und Schatten, ein **positives Bild**. Die Fixirung desselben geschieht, indem das Papier in unterschwefligsaures Natron gelegt wird.

§. 172.

Die Laterna magica und die Nebelbilder.

Die Laterna magica oder **Zauberlaterne** enthält in einem laternenähnlichen Gehäuse von Blech einen kleinen Hohlspiegel, eine Lampe und zwei erhabene Linsen. Die **Lampe** steht im Brennpunkte des kleinen metallenen **Beleuchtungsspiegels**, und ihr Licht wird, durch denselben verstärkt, nach den **Linsen** zu, auf die abzubildenden Gegenstände geworfen; diese sind mit durchscheinenden Farben auf Glastafeln gemalt und werden zwischen der Lampe und den Linsen eingeschoben. Durch die nahe beisammen stehenden und wie eine einzige, stärker gewölbte, wirkenden **Linsen** wird in weiterer Entfernung ein umgekehrtes, vergrößertes Bild entworfen, das sich auf der Wand eines dunklen Zimmers oder auf einem durchscheinenden Vorhange auffangen läßt; damit die Bilder sich aufrecht zeigen, werden die bemalten Glastafeln verkehrt eingeschoben.

Fig. 149.



Zur Darstellung der **Nebelbilder** oder **Wandelbilder** bedient man sich **zwei gleicher Zauberlaternen**, deren Lampen so eingerichtet sind, daß sie bald ein sehr helles, bald ein sehr schwaches Licht geben können. Jede Laterna magica wirft, so lange noch keine Glasplatten eingesetzt sind, einen hellen Kreis auf den durchscheinenden Vorhang, vor welchem sich die Zuschauer befinden; beide Laternen werden nun so gerichtet, daß die durch sie beleuchteten Kreise genau in einen zusammenfallen. Sodann wird die Lampe

der zweiten Laterne möglichst schwach brennend erhalten, und in dieselbe etwa eine Glasplatte mit einer Winterlandschaft geschoben; in die erste Laterne mit hellbrennender Lampe dagegen wird eine Glasplatte mit derselben als Sommerlandschaft dargestellten Gegend eingesetzt. Sofort erscheint die Sommerlandschaft in vollem Lichte auf dem Vorhang; indem man aber das helle Licht dieser ersten Laterne schwächt, verliert die Landschaft ihre deutlichen Umrisse und erscheint, wie in Nebel gehüllt. Gleichzeitig vermehrt man aber die leuchtende Kraft der zweiten Laterne mit der Winterlandschaft, und wenn dieselbe hinreichend hell, die erste Lampe aber dunkel genug brennt, so zeigt sich an der Stelle der Sommerlandschaft die Winterlandschaft in vollkommener Deutlichkeit. Mittlerweile wird in die erste Laterne ein neues Bild geschoben, das nachher an die Stelle der Winterlandschaft tritt und später wieder durch ein anderes Bild der zweiten Laterne verdrängt wird*).

E. Das farbige Licht.

§. 173.

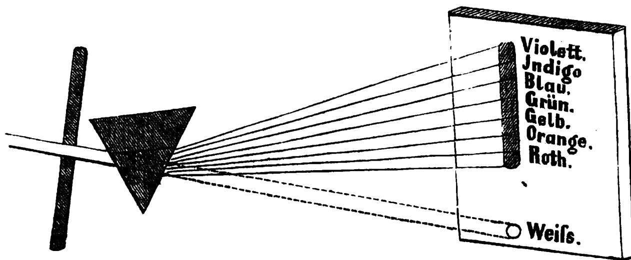
Die durch Brechung des Lichts entstehenden Farben.

Das weiße Sonnenlicht ist aus den sieben Regenbogenfarben zusammengesetzt.

Weißes Licht läßt sich, weil die farbigen Strahlen nach verschiedenen Stellen hin gebrochen werden, durch die Brechung mittels eines Prisma's, einer dreieckigen Glassäule, in dieselben zerlegen und sogar aus denselben wieder zusammensetzen.

Dies beweisen die berühmten Versuche des englischen Mathematikers Newton aus dem Jahre 1666: 1) In ein völlig verfinstertes Zimmer fielen

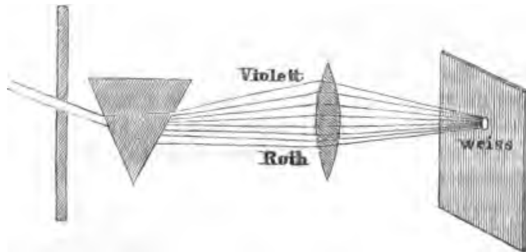
Fig. 150.



*) Eine bedeutende Vergrößerung macht die Bilder der Laterna magica undeutlich, weil sie so schwach beleuchtet sind. Setzt man deshalb an die Stelle der Lampe ein Kalkstückchen, das, in einer Flamme von Sauerstoff und Wasserstoff glühend, ein starkes Licht giebt, und gebraucht man nun stärker gewölbte, bei weitem mehr vergrößernde Linsen, so hat man die Einrichtung des **Hydro-Oxygen-Mikroskops**, welches vielen Zuschauern zugleich kleine Gegenstände in ungemeiner Vergrößerung darstellt.

durch die kleine Oeffnung eines Fensterladens Sonnenstrahlen und bildeten unten auf der gegenüberstehenden Wand ein weißes, rundes Sonnenbild. Nun fing aber Newton dies Sonnenlicht durch ein dreiseitiges Prisma, dessen eine Kante sich unten befand, auf; da rückte, in Folge der Brechung, das Bild nicht bloß an der Wand in die Höhe, sondern es erschien als ein länglicher Streifen und zeigte, von unten nach oben gezählt, folgende Farben: **roth, orange, gelb, grün, blau, dunkelblau** und **violett.** 2) Die rothen Strahlen waren am wenigsten an der Wand emporgerückt, die violetten dagegen am stärksten gebrochen. Eben so schien, als Newton ein längliches Viereck, das zur Hälfte violett und halb roth gefärbt war, in ähnlicher Weise durch das Prisma betrachtete, die violette Hälfte weit höher zu liegen, als die rothe. Die einfachen Farben werden daher in verschiedenem Grade und nach verschiedenen Stellen hin gebrochen, wodurch eine Zerlegung des weißen Lichts möglich wird. 3) Um die Strahlen des Farbenbildes wieder zu vereinigen, fing Newton die farbigen Strahlen durch eine erhabene Linse auf und erhielt im Brennpunkte derselben ein weißes, rundes Sonnenbild (Fig. 151).

Fig. 151.



Daher zeigen alle Gegenstände, durch ein Prisma betrachtet, **farbige Ränder,** da die von der Mitte der Gegenstände ausgehenden, zerlegten Strahlen sich unter einander wieder zu weißem Lichte vereinigen. Dieselben farbigen Ränder erscheinen bei jeder stärkeren Lichtbrechung und stellen sich als großer Uebelstand bei Mikroskopen und Fernröhren ein. Diesem Uebelstande helfen die 1757 durch Dollond erfundenen, farbenfreien oder achromatischen Linsen ab, die aus zwei Gläsern, einem aus Kronglas (dem gewöhnlichen Fensterglas) und einem aus (bleihaltigem) Flintglas, so zusammengesetzt sind, daß das Flintglas die durch das andere hervorgebrachten farbigen Strahlen wieder zu weißen vereinigt, ohne dessen sonstige Wirkung aufzuheben.

§. 174.

Der Regenbogen.

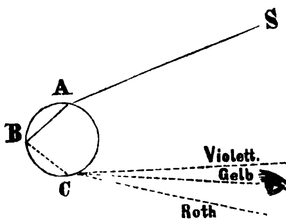
Die Erscheinung des **Regenbogens** zeigt sich uns in kleinerem Maßstabe, so oft wir der Sonne den Rücken zuwenden und zugleich von dem Sonnenlicht beschienene Wassertropfen betrachten, sowohl in dem niederfallenden Staubregen einer Fontaine oder eines Wasserfalls, als auch in den durch die Schaufelräder eines Dampfschiffes oder den Wellenschlag des Meeres emporgespritzten zahlreichen Tropfen. Sicherlich ist daher der Regenbogen die Folge einer Veränderung, welche mit dem Sonnenlicht in den

Wassertropfen vorgeht. Nun bricht aber Wasser die Sonnenstrahlen in ähnlicher Weise, wie ein Glasprisma, und zertheilt sie dabei, wie man an jeder mit Wasser gefüllten und von der Sonne beschienenen Caraffine sehen kann, in farbige Strahlen. Diese farbigen Strahlen könnten, wenn man die Sonne im Rücken hat, nimmermehr ins Auge gelangen, wenn sie nicht von den Wassertropfen zugleich, wie von einer spiegelnden Fläche, zurückgeworfen würden.

An Thau- und Regentropfen, die an Pflanzen hängen, kann man leicht die Wahrnehmung machen, daß jeder Tropfen dem Auge bei einer bestimmten Stellung nur **eine** Art farbiger Strahlen zusendet und die andern nach so aus einander laufenden Richtungen hin bricht, daß sie unbemerkt vor dem Auge vorbeigehen. Unter den von der Sonne beschienenen Thautropfen erscheint dem Auge der eine roth, während ein an niedriger Stelle hängender Tropfen sich in violetter oder einer andern der 7 einfachen Farben darstellt. Hat man aber vor sich eine regnende Wolke, so liegen genug Tropfen über einander, um zusammen alle Regenbogenfarben zu zeigen.

Im Großen sieht man nämlich einen Regenbogen nur dann, wenn man eine regnende Wolke vor sich und die Sonne im Rücken hat.

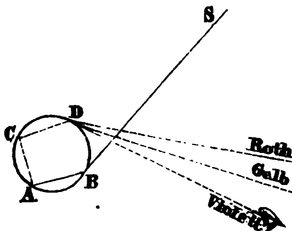
Fig. 152.



Die Sonnenstrahlen werden beim Eintritt in die Regentropfen gebrochen, von ihrer dunkleren Hinterwand zurückgeworfen und beim Austritt aus den Tropfen nochmals gebrochen und in farbige Strahlen zertheilt,

von denen aber aus jedem Tropfen nur eine Art dem Auge zukommt. Nun haben die in einem Kreise liegenden Tropfen zu dem Auge und der Sonne eine ganz gleiche Lage und senden ihm gleichfarbige Strahlen zu; es erscheinen daher kreisförmige, farbige Bogen, von denen der äußerste roth, der am weitesten nach innen gelegene violett aussieht. Die **Größe** des Regenbogens hängt von dem Stande der Sonne ab; bei Sonnenaufgang und Sonnenuntergang bildet er einen vollständigen Halbkreis, bei Sonnenaufgang im Westen und bei Sonnenuntergang im Osten; je höher die Sonne steht, desto kleiner wird der farbige Bogen; steht die Sonne zu hoch, so wird dem Bewohner der Ebene durchaus kein Regenbogen sichtbar, da die von den Regentropfen kommenden Strahlen über seinem Kopf fortgehen. Häufig nimmt man über dem Hauptregenbogen noch einen weniger lebhaften, außen violett und nach innen roth gefärbten **Nebenregenbogen** wahr; derselbe entsteht durch eine zweimalige Brechung und eine zweimalige Zurückwerfung von der Hinterwand höher liegender Regentropfen und hat darum schwächere Farben, weil das Licht bei jeder Zurückwerfung an Stärke verliert.

Fig. 153.



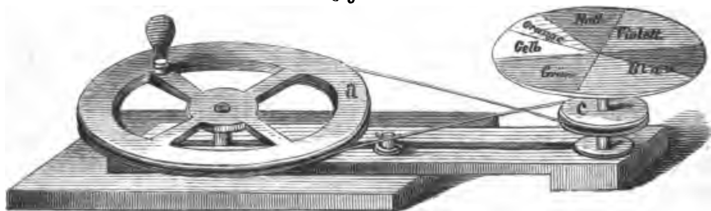
§. 175.

Die durch Zurückwerfung des Lichts entstehenden Farben.

Während durchsichtige Körper das zusammengesetzte, weiße Sonnenlicht durch Brechung in farbige Strahlen zerlegen, bewirken undurchsichtige Körper dasselbe durch Zurückwerfung. Zwar werfen einige Körper das weiße Sonnenlicht zurück, ohne es zu zersetzen, und erscheinen darum dem Auge weiß; andere werfen fast gar kein Licht zurück und sehen (nach §. 155, 3) schwarz aus; noch andere endlich werfen wenig weißes Sonnenlicht zurück, ohne es zu zersetzen, und erscheinen grau. Die meisten undurchsichtigen Körper dagegen zersetzen das auf sie fallende Sonnenlicht und werfen nur eine Art farbigen Lichts zurück, z. B. rothes oder blaues, wogegen sie alle übrigen Farbenstrahlen in sich aufnehmen oder absorbiren. So wirft rothes Papier, das man gegen das Tageslicht hält, rothe Strahlen auf eine weiße Wand; es erscheint dagegen in den grünen Strahlen eines Prisma's schwarz, weil es kein Licht empfängt, das es zurückwerfen und dem Auge zusenden könnte.

Die **Malerfarben** sind solche fein zertheilte Stoffe, welche das weiße Licht bei der Zurückwerfung zersetzen und dem Auge nur eine Gattung der farbigen Strahlen zusenden. Vermischt man 7 Farben, welche den 7 Regenbogenfarben entsprechen, so erhält man auch hier Weiß, das etwas

Fig. 154.



in Grau übergeht, weil die Farbenstrahlen zu wenig leuchtend sind. Eine besonders wichtige Vorrichtung für die zurückgeworfenen Farben ist der **Farbenkreis** oder Farbenkreisel, eine kreisrunde Scheibe, die mit den 7 oder, wenn man Blau und Dunkelblau als eine Farbe rechnet, 6 Regenbogenfarben bemalt ist.

1. Dreht man den Farbenkreis schnell um, so daß sich die sechs Farben für das Auge vermischen, so erscheint er weißlich grau. 2. Bemalt man den Farbenkreis halb roth und halb gelb, so entsteht durch Vermischung dieser beiden Grundfarben beim Umdrehen der Scheibe Orange, aus Gelb und Blau Grün, aus Blau und Roth Violett. Unter den durch Zurückwerfung entstehenden Farben unterscheidet man **drei Hauptfarben: Roth, Gelb** und **Blau.** Die andern werden aus diesen zusammengesetzt, heißen **Mittelfarben** und stehen im vollständigen Farbenkreise in der Mitte zwischen den drei Grundfarben, durch deren Vermischung sie entstehen. 3. Da auch in den Mittelfarben nichts Anderes, als die Grundfarben, enthalten ist, so geben auch die drei Grundfarben, Roth, Gelb und Blau,

allein zusammen Weiß. 4. Nun enthält jede Mittelfarbe zwei Grundfarben, wie denn Grün aus Gelb und Blau besteht; da beide aber mit Roth Weiß geben, so giebt auch ihre Mittelfarbe, Grün, mit Roth zusammen Weiß. Die im Farbenkreise einander gegenüber stehenden zwei Farben geben zusammen Weiß und heißen **Ergänzungsfarben**, weil die eine die andere zu weißem Licht ergänzt oder **harmonische** Farben, weil ihre Zusammenstellung dem Auge einen angenehmen und befriedigenden Eindruck gewährt.

§. 176.

Das Blau des Himmels und die Abendröthe.

Durchsichtige Körper erscheinen gefärbt, sobald man durch größere Massen derselben sieht, wie z. B. Glas, Eis und Wasser in größeren Massen eine grünlich blaue Färbung zeigen, ein Beweis, daß sie nicht vollkommen durchsichtig sind.

So hat auch die **Luft** in größeren Massen eine schöne, blaue Farbe. Auf den Gipfeln hoher Gebirge und in den bedeutenden Höhen, zu denen man in Luftballons emporgestiegen ist, hat man weniger und dünnere, vollkommner durchsichtige Luftschichten über sich; durch dieselben erblickte man den lichtlosen Weltraum mit seiner schwarzen Färbung. Erst der Ueberzug der atmosphärischen Luft, durch welchen wir blicken, giebt dem Himmelsraum für das Auge seine blaue Farbe, in der uns auch die Gipfel ferner Berge erscheinen. Gebleicht wird das Blau des Himmels besonders durch Wasserdämpfe, die als leichte Nebelschleier in der Atmosphäre schweben.

Schon der Umstand, daß unter dem reinen, klaren Himmel der heißen Zone die Erscheinungen der Abend- und Morgenröthe meistentheils unbekannt sind, weiset darauf hin, daß in der Luft enthaltene Wasserdämpfe die Ursache der **Abend-** und **Morgenröthe** sind. Vollkommen luftförmiger Wasserdampf ist farblos und durchsichtig; durch Abkühlung verdichtet er sich zu einem undurchsichtigen Nebel; dazwischen liegt eine Uebergangsstufe aus der Dampfform in die Nebelform. In dieser Uebergangsstufe findet man den ausströmenden Wasserdampf einige Fuß über dem Sicherheitsventil einer Locomotive; blickt man hier durch den Dampf nach der Sonne, so findet man ihn orangeroth gefärbt. Diese Uebergangsstufe durchläuft aber der sich abkühlende Wasserdampf in der Luft naturgemäß bei Sonnenuntergang und läßt dann nur die orangerothen Strahlen der dahinter stehenden Sonne durch.

F. Die Natur des Lichts.

§. 177.

Die Emanationstheorie.

Um die Erscheinungen des Lichts zu erklären, sind zwei Grundansichten über die Natur des Lichts aufgestellt worden, zwischen denen

der Sieg lange Zeit streitig gewesen ist. Die von Newton herrührende **Emanationstheorie** nimmt das Vorhandensein eines überaus feinen Lichtstoffes an, von dem jeder leuchtende Körper Theilchen nach allen Seiten hin mit ungeheurer Geschwindigkeit aussende. Die Zurückwerfung des Lichts ist nach dieser Theorie ähnlich dem Zurückprallen eines elastischen Körpers; die Brechung soll durch Anziehung der Lichttheilchen von den Theilchen des durchsichtigen Stoffes bewirkt werden und die Verschiedenheit der Farben in einer verschiedenen Geschwindigkeit der farbigen Strahlen ihren Grund haben. Nach der zuerst von Huyghens aufgestellten **Vibrationstheorie** dagegen ist das Licht nicht selbst ein Stoff, sondern wird durch die Schwingungen eines, den ganzen Weltraum erfüllenden, überaus feinen Stoffes, des Aethers, hervorgebracht.

§. 178.

Die Beugung des Lichts.

Schon vor Newton hatte der Jesuit Grimaldi **die Beugung des Lichts** entdeckt. Er hatte in dem Laden eines verfinsterten Zimmers eine feine Oeffnung angebracht, durch welche ein Sonnenstrahl ins Zimmer drang, fing denselben auf einer weißen Fläche auf und beobachtete, daß auf derselben der beleuchtete Raum größer war, als er bei geradliniger Bewegung des Lichts hätte sein sollen. Sodann brachte er in den Sonnenstrahl einen undurchsichtigen Körper und sah um den Schatten desselben farbige Ränder, deren Licht in den Schattenraum selbst hineintrat, so daß das Licht beim Vorbeigehen vor dem undurchsichtigen Körper von seinem geraden Wege abgelenkt und um ihn herum gebeugt wurde. So sieht man in freiem Sonnenlicht Spinngewebe und Augenwimpern mit farbigen Säumen umgeben. Schon diese Beugungserscheinungen haben unverkennbare Aehnlichkeit mit der Beugung einer Wasserwelle, die, wenn sie durch die Oeffnung einer Wand geht, jenseit derselben (nach §. 114, 2) breiter wird.

§. 179.

Die Interferenz des Lichts.

Entschieden ist der Sieg der Vibrationstheorie erst durch die 1801 von dem Engländer Young entdeckte **Interferenz des Lichts***), d. h. durch die Wahrnehmung, daß das Zusammentreffen fast paralleler Lichtstrahlen Dunkelheit und ein völliges Verschwinden des Lichts zur Folge haben kann. Young ließ durch zwei sehr feine, einander nahe Oeffnungen Sonnenstrahlen in ein dunkles Zimmer dringen und fing sie mit einem Blatt Papier so auf, daß die beiden hellen Kreise theilweise über einander fielen. Da zeigten sich in diesem doppelt beleuchteten Raume dunkle Streifen, welche sogleich heller wurden und verschwanden, wenn die eine der Oeffnungen verschlossen ward. Nimmermehr aber kann die

*) Ueber die Bedeutung des Wortes „Interferenz" siehe §. 114, 2.

Dunkelheit dieser Streifen daraus erklärt werden, daß dort Lichtstoff zu Lichtstoff hinzukommt; vielmehr entsteht sie, wie bei der Interferenz der Wasserwellen, dadurch, daß die eine Welle des Aethers mit ihren Wellenbergen die Thäler der andern Welle ausfüllt, oder daß in Folge der einen Wellenbewegung die Aethertheilchen sich nach oben, in Folge der andern sich nach unten bewegen sollten und deshalb in Ruhe bleiben.

§. 180.

Die Vibrationstheorie.

Das Licht hat daher die größte Aehnlichkeit mit dem Schalle; beide entstehen durch Schwingungen, der Schall durch Schwingungen von Körpern, das Licht durch die Wellenbewegung des Aethers. Die Schwingungen einer Saite werden uns hörbar, die der Aethertheilchen sichtbar, sobald sie mit hinreichender Geschwindigkeit erfolgen. Die Zurückwerfung des Lichts ist ähnlich der Zurückwerfung der Schallwellen beim Echo oder der Wasserwellen, die vom Ufer zurückkehren; die Brechung hat ihren Grund darin, daß der alle Körper durchdringende Aether in dichteren Körpern eine geringere Elasticität besitzt. Mit den Farben endlich verhält es sich ganz eben so, wie mit höheren und tieferen Tönen; Violett und Blau, die höchsten Farbentöne, werden durch die schnellsten und kleinsten Schwingungen hervorgebracht.

III. Die Wärme.

A. Die Erregung der Wärme.

§. 181.

I. Erregung der Wärme durch Reiben und Zusammenpressen.

Eine auf dem Fußboden geriebene Münze wird warm; eben so eine Stricknadel, über die man einen Kork geschoben, wenn man sie durch Hin- und Herschieben desselben reibt. Bei anhaltendem Gebrauch werden Bohrer und Sägen oft so heiß, daß man sie an den Stellen, welche sich gegen das Holz gerieben haben, nicht mit der Hand berühren mag; Wagenaxen entzünden sich bei schnellem Fahren, wenn sie nicht gehörig geschmiert sind und sich an dem Rade reiben; ja Mühlsteine können einen Brand verursachen, wenn sie kein Getreide zu mahlen haben und sich an einander reiben; reiben wir doch selbst die Hände im Winter, um sie zu erwärmen. Eben so kann man einen kalten Eisenstab durch bloßes Hämmern zum Glühen bringen, und ein Stückchen Gummi erhitzt sich bedeutend, wenn man es rasch aus einander zieht, wodurch es seiner Breite nach zusammengepreßt wird. Aus diesen Thatsachen geht hervor, daß

durch Reiben oder durch Zusammenpressen der Körper Wärme erregt wird.

Diese Mittel werden daher bei manchen **Feuerzeugen** angewandt. Von jeher haben die Wilden sich dadurch Feuer verschafft, daß sie zwei Holzstücke an einander reiben. Beim Feueranschlagen mit Stahl und Feuerstein werden durch die heftige Reibung Stückchen Stahl glühend abgeschlagen, so daß sie Zunder zu entzünden vermögen. Die Zündmasse unserer Streichhölzchen besteht aus Phosphor, Gummi und Salpeter; Phosphor allein würde sich an der Luft von selbst entzünden, indem er sich mit ihrem Sauerstoff verbindet; das Hinzutreten desselben wird durch das Gummi verhindert; beim Streichen der Zündhölzer aber wird die Gummirinde losgerissen und der Phosphor so erwärmt, daß er sich mit dem Sauerstoff des Salpeters und der Luft verbinden kann. Das Compressionsfeuerzeug ist eine hohle, unten verschlossene Metallröhre; legt man in dieselbe ein Stückchen Schwamm und stößt dann einen dicht anschließenden Stempel schnell hinein, so wird die in der Röhre befindliche Luft durch die Zusammenpressung erhitzt, und der Schwamm fängt an zu glimmen.

§. 182.

II. Erregung der Wärme durch die Sonnenstrahlen.

Die Hauptquelle der Wärme auf der Erde sind die erwärmenden **Strahlen der Sonne**, und wir können durch ein Brennglas (§. 163, 2) eine Menge derselben auffangen, in einen einzigen Punkt vereinigen und durch ihre vereinigte Wirkung brennbare Körper entzünden.

Hält man die Hand so, daß die Sonnenstrahlen rechtwinklig auf dieselbe fallen, so fühlt man einen höheren Wärmegrad, als sonst; schräg stehende Pfähle und Steine, die fast rechtwinklig von der Mittagssonne beschienen werden, überraschen durch ihre Hitze; auf Dächern schmilzt der Schnee früher, als in der wagerechten Ebene. So lehrt denn die Erfahrung:

> **Die Sonnenstrahlen erregen die größte Wärme, wenn sie rechtwinklig auf eine Fläche fallen;** je schräger sie einen Körper treffen, desto weniger erwärmen sie ihn.

Daraus erklärt sich 1) der tägliche Wärmewechsel, weil die Sonnenstrahlen am Morgen und Abend in sehr schräger Richtung, am Mittag aber unter einem größeren Winkel zu uns gelangen; 2) der Unterschied von Sommer und Winter, da während des Sommers die Sonnenstrahlen den Boden unter einem größeren Winkel treffen und längere Zeit auf ihn erwärmend wirken, und 3) die Verschiedenheit der Zonen auf der Erde, von denen die heiße senkrecht, die kalte überaus schräg von den Sonnenstrahlen getroffen wird. Die Wärme der Luft hat ihren Grund darin, daß die Erde einen Theil der Sonnenstrahlen zurückwirft und ihre Wärme derselben mittheilt, weshalb die Wärme der Luft nach oben zu abnimmt.

§. 183.

III. Erregung von Wärme durch chemische Vorgänge.

Am häufigsten bringen wir durch das **Verbrennen** von Holz und anderen Körpern, d. h. durch rasche Verbindung derselben mit Sauerstoff (§. 63),

Wärme hervor; eben so wird durch die meisten **chemischen Vorgänge** Wärme erregt. Beim Löschen des Kalks verbindet sich das Wasser mit dem gebrannten Kalk unter bedeutender Erhitzung; beim Eingießen von Schwefelsäure in Wasser erwärmt sich die Flüssigkeit oft so, daß das Gefäß springt. Wenn man chlorsaures Kali und Schwefel auf Schwefelsäure streut, so erfolgt ein lebhaftes Knistern und eine Entzündung von Schwefel; daher enthielt das Zündfläschchen unserer chemischen Feuerzeuge etwas Schwefelsäure, die darum auf Asbest gegossen ist, damit das Schwefelhölzchen nicht zu tief eingetaucht werde; die rothe Masse der Schwefelhölzer aber bestand aus chlorsaurem Kali und Schwefel.

In Folge chemischer Vorgänge kann eine **Selbstentzündung** eintreten. Unglücksfälle in Pulverfabriken haben gelehrt, daß große Massen pulverisirter Kohlen Luftarten einsaugen und sie durch Zusammenpressen erhitzen; frisch geölte oder gefirnißte Zeuge, welche fest auf einander gepackt sind, können sich selbst entzünden, da sie beim Trocknen der Oele Sauerstoff einsaugen und verdichten; nasse Pflanzenstoffe, z. B. Gras oder Heu, die in Haufen fest über einander liegen, verfaulen zu einer schwarzen, kohlenreichen Masse und erhitzen sich unter Entwickelung einer dichten Menge von Kohlenwasserstoffgas, das sich beim Zutritt der Luft entzünden kann.

IV. Ueber die Erregung von Wärme durch Elektricität vgl. §. 18. 24. 25.

B. Wirkungen der Wärme.

a. Ausdehnung der Körper.

§. 184.

Ausdehnung fester Körper durch die Wärme.

Ein Topf, der sich kalt eben durch eine Ofenthür schieben ließ, läßt sich heiß nicht wieder herausziehen, weil er durch die Erwärmung größer geworden ist; rothglühende Bolzen füllen das Plätteisen fast aus, obwohl sie bedeutend kleiner waren, ehe sie ins Feuer gelegt wurden; eine Metallkugel, die gerade durch einen Ring geht, wird durch starke Erhitzung so ausgedehnt, daß sie nicht mehr hindurchgeht. Ein eiserner Wagenreif dagegen, der glühend um ein Rad gelegt wird, zieht sich beim Erkalten zusammen und schließt fest an das Rad; gegossene Waaren füllen nach dem Erkalten ihre Form nicht mehr aus, und heiß ins Nageleisen geschlagene Nägel lassen sich nachher leicht herausnehmen. Aehnliche Erscheinungen an den verschiedensten Körpern beweisen,

daß durch die Wärme alle Körper ausgedehnt werden, beim Erkalten aber sich zusammenziehen.

Darum dürfen Eisenbahnschienen nicht dicht an einander gelegt werden, sondern müssen Raum behalten, um sich ausdehnen zu können, und die Platten der Zinkdächer werden nicht an einander genagelt, sondern nur mit den Rändern in einander geschoben, damit sie sich, ohne zu reißen, zusammenziehen und, ohne sich zu werfen, ausdehnen können. Gläserne Pfropfen, die zu fest sitzen, lassen sich dadurch losmachen, daß man den Hals der Flasche über einer Flamme erwärmt und dadurch weiter ausdehnt. Man hat sogar in Paris am Conservatorium der Künste Mauern, die unter der Last der Decke aus ihrer Stellung gewichen waren, ihre anfängliche Stellung wiedergegeben, indem man eiserne Stangen hindurchzog, durch Lampen erhitzte und, als sie sich ausgedehnt hatten, durch große Schrauben an die Wände befestigte; beim Erkalten zogen sich die Stangen zusammen und brachten die Wände wieder einander näher.

Wird ein Glas auf den heißen Ofen gestellt, so springt es leicht in Folge der ungleichen Ausdehnung, die am Boden weit schneller und stärker ist, als an den weniger erwärmten Seitenwänden; diese zu schnelle Mittheilung der Wärme kann aber leicht durch untergelegtes Papier verhindert werden. Holz, Papier und Pappe wirft oder krümmt sich, wenn sie auf der einen Seite mehr erwärmt und ausgedehnt werden, als an der andern.

§. 185.

Ausdehnung flüssiger und luftförmiger Körper durch die Wärme.

Wenn man durch den Kork einer ganz mit Wasser gefüllten Flasche eine enge Glasröhre steckt und die Flasche erwärmt, so sieht man, wie in der Röhre die sich ausdehnende Flüssigkeit immer höher steigt. Hundert Quart Spiritus, die man in strenger Winterkälte gekauft hat, dehnen sich in der Hitze des Sommers dergestalt aus, daß man alsdann fünf Quart mehr hat.

So dehnt sich auch die Luft in einer zugebundenen Blase aus, wenn man diese auf den warmen Ofen legt, und die Kohlensäure in den Bierflaschen wirft, wenn sie erwärmt werden, häufig genug die Pfropfen ab.

§. 186.

Das Thermometer.

1. Auf der Ausdehnung der Körper durch die Wärme, welche letztere doch desto größer sein muß, je mehr sie die Körper ausdehnt, beruht die Einrichtung des **Thermometers** oder Wärmemessers. Es ist von Cornelius **Drebbel**, einem Holländer, der die Söhne des Kaisers Ferdinand II. erzogen hatte und in London lebte, 1638 erfunden worden; er nahm eine sich oben zu einer Kugel erweiternde Glasröhre, verdünnte durch Erwärmung die in derselben befindliche Luft und stellte dann das untere, offene Ende in ein mit Wasser gefülltes Glas, aus dem die Flüssigkeit wegen des Drucks der atmosphärischen Luft etwa bis zur Mitte in die Röhre stieg; berührte man nun die Kugel mit der Hand, so dehnte sich die Luft darin aus, was

man an dem Fallen des Wassers sehen konnte. Vorzüglich benutzten die Aerzte das Instrument, um damit die Hitze des Kranken abzumessen; es war aber schon darum unvollkommen, weil das Steigen oder das Fallen des Wassers auch von dem Druck der atmosphärischen Luft abhing.

Darum nahmen Naturforscher zu Florenz eine unten mit einer Kugel versehene Glasröhre, füllten sie mit rothem Weingeist, trieben durch Erhitzung alle Luft heraus und schmolzen dann die Röhre zu, so daß beim **Florentiner** Thermometer der Weingeist durch die Wärme ausgedehnt wurde.

Fig. 155.



2. Im Anfang des 18. Jahrhunderts füllte **Fahrenheit** in Danzig dies Thermometer mit Quecksilber, tauchte es in schmelzendes Eis und merkte sich den Punkt, bis zu welchem dabei das Quecksilber stand, den Eispunkt; dann tauchte er sein Thermometer in siedendes Wasser, bezeichnete wieder den Punkt, welchen das Quecksilber dabei erreicht hatte, den Siedepunkt, und theilte den Abstand zwischen beiden festen Punkten, den Fundamentalabstand, in 180 gleiche Theile oder Grade. Weil aber Fahrenheit in früheren Jahren seine Thermometer, um feste Punkte zu gewinnen, nicht in schmelzendes Eis, sondern in eine künstliche Kältemischung von Schnee und Salmiak getaucht hatte, wobei das Quecksilber viel tiefer stehen mußte, so fing er auch von diesem künstlichen Eispunkte an die Grade zu zählen, so daß nach Fahrenheit das Eis bei 32 Grad schmilzt, und Wasser bei 180 Grad mehr, also bei 212, kocht. Bei uns sind die Thermometer nach **Réaumur** am gebräuchlichsten, bei denen der Abstand zwischen Eis- und Siedepunkt in **80** Grade getheilt ist; beim Eispunkte steht 0, die Grade unter demselben bezeichnen Kältegrade, die Grade über Null sind Wärmegrade. Beim Schreiben pflegt man die Wärmegrade durch das vorgesetzte Pluszeichen, Kältegrade durch das Minuszeichen zu bezeichnen. $+ 3^0$ R heißt daher: 3 Grad Wärme nach Réaumur; $- 3^0$ R würde 3 Grad Kälte nach Réaumur bedeuten. Häufig bedient man sich auch des hunderttheiligen Thermometers nach **Celsius**, an dem der Abstand zwischen Eis- und Siedepunkt in hundert Grade getheilt ist.

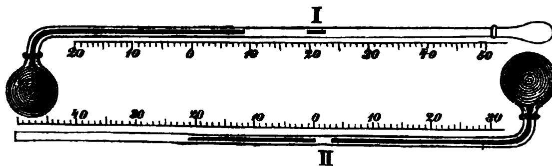
3. **Anwendungen.** Am meisten gebrauchen Naturforscher, Kunstgärtner, Krankenwärter, Seidenbauer und Bierbrauer das Thermometer. Zur Erforschung der Lufttemperatur im Freien muß es an der Außenseite des Hauses im Schatten aufgehängt werden; die gewöhnliche Winterkälte beträgt bei uns 5 bis 10 Grad Kälte nach Réaumur, die Sommerwärme + 15 bis 20^0 R. Die sich ziemlich gleich bleibende Kellerwärme erreicht + 9^0 R.; die eines geheizten Zimmers wird zweckmäßig auf + 14^0 R. erhalten; die Blutwärme des menschlichen Körpers beträgt + 29^0 R. Wasser gefriert und Eis schmilzt bei 0 Grad; Wasser siedet bei + 80^0 R.

4. **Thermometer und Barometer** haben unverkennbare Aehnlichkeit. Beide Instrumente bestehen aus Glasröhren, beide sind mit Quecksilber gefüllt, haben über demselben einen luftleeren Raum und sind mit einer Eintheilung oder Scala versehen. Sie unterscheiden sich in folgenden Stücken:

1) Die Röhre des Thermometers ist überall verschlossen, damit die Mitwirkung des Luftdrucks ausgeschlossen werde; die des Barometers ist oben verschlossen und unten, an der Kugel, offen, damit die Luft Zutritt habe. 2) Das Steigen des Quecksilbers wird im Thermometer durch die ausdehnende Kraft der Wärme, im Barometer durch den Luftdruck bewirkt. Das Thermometer dient zum Messen der Wärme, das Barometer zum Messen des Luftdrucks. 3) Die Scala oder Eintheilung ist am Thermometer eine Gradeintheilung, deren Grade in Uebereinstimmung mit der Länge des Fundamentalabstandes länger oder kürzer ausfallen, am Barometer eine Zolleintheilung, die gewöhnlich nur am oberen Theile ausgeführt ist. 4) Die Thermometer haben eine verschiedene Länge und sind desto empfindlicher, je weiter die Kugel und je enger die Röhre ist, je länger also die Grade werden; das Barometer hat seine bestimmte Länge von etwas über 30 Pariser Zoll.

5. **Maximum- und Minimum-Thermometer.** Für die Beobachtung der Lufttemperatur ist es wünschenswerth, zu wissen, welches die höchste Luftwärme, und welches die geringste an jedem Tage gewesen ist, ohne daß man nöthig hat, oft nach dem Thermometer zu sehen. Den höchsten Wärmegrad giebt das Maximum-Thermometer, den niedrigsten das Minimum-Thermometer an.

Fig. 156.



Das Maximum-Thermometer enthält über dem Quecksilber ein dünnes Eisenstäbchen I; das Quecksilber schiebt dasselbe vor sich her bis zu seinem höchsten Stande; hier bleibt das Stäbchen liegen, auch wenn das Quecksilber fällt. Im Minimum-Thermometer, welches mit Weingeist gefüllt ist, liegt ein hohles Glasstäbchen II in der Flüssigkeit und wird mitten in dieser nicht bewegt; fällt aber die Temperatur, so nimmt die Oberfläche des Weingeistes das Glasstäbchen mit sich zurück; die Flüssigkeitsoberfläche hat eine so starke Cohäsion (§. 112), daß sie, ohne zu zerreißen, das Stäbchen mit sich zieht; auf dem niedrigsten Stande bleibt es liegen. Beide Thermometer werden, etwa am Morgen, vor dem Gebrauch kurze Zeit senkrecht gestellt und dann in ihre wagerechte Lage gebracht.

§. 187.

Die für unser Klima wichtige Ausdehnung des Wassers durch Kälte.

1. Eine Ausnahme von dem allgemeinen Gesetz, „daß durch die Wärme die Körper ausgedehnt werden", macht das **Wasser**, das bei 3 Grad Wärme am dichtesten oder schwersten ist und nun eben so gut durch Kälte, als durch Wärme ausgedehnt wird. Steckt man durch den Kork einer mit Wasser gefüllten Flasche ein Thermometer und eine

enge Glasröhre, die aus der Flasche hervorragt und sich zum Theil noch mit Wasser füllt, und setzt man die Flasche in Schnee, so sieht man das Wasser in der Röhre sinken, bis das Thermometer 3 Grad Wärme zeigt; bei stärkerer Abkühlung aber steigt es wieder und dehnt sich fortwährend aus. Eis ist sogar bedeutend leichter, sonst würde es nicht schwimmen; und die Gewalt, mit der sich das Wasser beim Gefrieren ausdehnt, ist so groß, daß es eiserne Gefäße zu sprengen vermag. Felsen, in deren Spalten sich Eis bildet, werden aus einander gerissen; Straßenpflaster, unter welches Wasser gedrungen, wird durch den Frost emporgehoben, und fester Lehmboden wird durch die Ausdehnung des in ihm enthaltenen Wassers beim Gefrieren aufgelockert.

2. Diese Ausnahme von dem allgemeinen Wärmegesetz ist von der größten Wichtigkeit für das Klima unserer Gegenden. Das Wasser unserer Teiche und Seen kühlt sich bei eintretendem Winter hauptsächlich an seiner von kalten Luftströmungen berührten Oberfläche ab; das abgekühlte Wasser wird schwerer und sinkt zu Boden, wärmeres steigt an seine Stelle empor, wird ebenfalls abgekühlt und sinkt wieder hinab. Dieses Auf- und Absteigen des Wassers würde fortdauern, wenn das Wasser durch die Kälte immer dichter und schwerer würde; wenige kalte Tage würden hinreichen, um unsere Gewässer bis auf den Grund in Eis zu verwandeln und uns ein sibirisches Klima zu geben. Vermöge jener weisen Ausnahme aber hört die Circulation des Wassers (sein Auf- und Abströmen) auf, wenn seine Temperatur bis auf 3 Grad Wärme gesunken ist; das noch kältere Wasser wird leichter, bleibt oben und verwandelt sich bald in Eis, während fast alles übrige Wasser 3 Grad Wärme behält.

3. In stehenden Gewässern kann sich daher kein **Grundeis** bilden; in Flüssen dagegen, in welchen die starke Strömung Wassermassen von verschiedenen Wärmegraden unter einander mischt, kann die Eisbildung, die stets von festen Punkten aus ihren Anfang nimmt, an den Ufern, an Felsen, Pfählen und auf dem Grunde beginnen. Die auf dem Grunde entstandenen Eisschollen werden, je größer sie geworden, ihres geringen specifischen Gewichts wegen, desto stärker vom Wasser gehoben und endlich losgerissen und nach der Oberfläche geführt. Durch anhaftende Erde und Steine verrathen sie dann den Ort ihrer Entstehung; bald nach dem Treiben des Grundeises frieren auch die Zwischenstellen zwischen den Schollen an der Oberfläche zu, und eine zusammenhängende Eisdecke hindert das fernere Eindringen des Frostes.

---

b. Strömungen in Wasser und Luft.

§. 188.

Die Circulation des Wassers und die Wasserheizung.

Ueberall, wo die unteren Schichten einer Flüssigkeit durch die Wärme ausgedehnt und leichter werden, erfolgt durch das Emporsteigen der leichteren

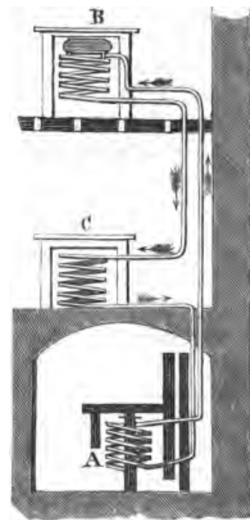
und das Hinabsinken der schwereren eine Kreisbewegung oder Circulation der Flüssigkeit. Füllt man eine Glaskugel mit Wasser, unter das Bernsteinpulver gemengt ist, und erwärmt sie über einer Lampe, so sieht man gerade über der Lampe das Pulver sammt dem Wasser emporsteigen und an den Seiten sich abwärts bewegen.

Fig. 157.



Diese Circulation ist zur Heizung der Zimmer durch erhitztes Wasser angewandt worden. In dem Erdgeschoß des Gebäudes befindet sich der ringsum verschlossene Röhrenkessel A, in dem das Wasser erhitzt wird; aus dem oberen Theile desselben steigt eine Röhre gerade empor zu den oberen Stockwerken; von hier wird aus dieser Hauptröhre durch die zu heizenden Zimmer nach beliebigen Windungen eine Röhrenleitung allmählich abwärts geführt bis in den unteren Theil des Kessels; das Ganze wird durch die obere Oeffnung der Hauptröhre mit Wasser gefüllt. Das im Kessel erwärmte Wasser steigt in der Hauptröhre empor und durchströmt und erwärmt die Seitenröhren, während aus diesen kälteres Wasser in den Kessel fließt.

Fig. 158.



§. 189.

Die Circulation der Luft und die Luftheizung.

1. Das Aufsteigen der erwärmten, leichter gewordenen Luft beweisen folgende Thatsachen. Wenn Sonnenstrahlen in ein eben gereinigtes, noch mit Staub erfülltes Zimmer fallen, so sieht man die durch die Sonnenstrahlen erwärmte Luft sammt dem Staube emporsteigen; in jedem geheizten Zimmer befindet sich die wärmere Luft oben, wie sich schon durch das Gefühl wahrnehmen läßt. Auf das Emporsteigen derselben gründet sich auch das unter dem Namen der tanzenden Schlange bekannte Spielzeug; man schneidet aus einem runden Stückchen Papier einen spiralförmigen Streifen und steckt es mit seinem Mittelpunkte auf eine Stricknadel fest, die man auf ein Brettchen befestigt hat, so daß es gleich einer Schlange um die Nadel hängt; in der Nähe eines warmen Ofens hebt die Luftströmung das untere Ende der Schlange empor, durch seine Schwere sinkt

es wieder, wird wieder gehoben und tanzt auf diese Weise auf und ab. **Formt** man den Kopf der Schlange zu einem Hütchen, das auf der Nadel schwebt, so setzt der aufsteigende Luftstrom nach §. 86 das Spielwerk in drehende Bewegung. Eine Art von Luftballons, die Montgolfièren, wird dadurch zum Steigen gebracht, daß man die in ihnen befindliche Luft durch darunter unterhaltenes Feuer verdünnt (§. 58, 2).

2. Der Zug in unseren Oefen wird dadurch bewirkt, daß durch die Röhren die erwärmte Luft emporsteigt und kältere Luft durch die Ofenthür hineinströmt. Denn, wie das Wasser, so

strömt die warme Luft nach oben, und kalte Luft strömt unten der Wärmequelle zu.

Hält man daher ein brennendes Licht oben an die Thür zwischen einem geheizten und einem kalten Zimmer, so wird die Flamme aus dem warmen Zimmer hinausgeweht; hält man das Licht nahe dem Fußboden, so wird es durch die kalte eindringende Luftströmung nach dem warmen Zimmer hineingeweht. Deshalb fühlen wir, wenn im Winter die Thür offen steht, einen kalten Zug an den Füßen.

3. Die Circulation der Luft hat man bei der **Luftheizung** in großen öffentlichen Gebäuden zur Anwendung gebracht. Hier befindet sich im Keller eine aus Steinen erbaute Heizkammer, in welcher die Luft durch einen Ofen bedeutend erhitzt wird. Während unten über dem Fußboden angebrachte Röhren der Heizkammer frische Luft zuführen, steigt die erwärmte Luft durch senkrechte Röhren zu den oberen Stockwerken empor; diese Röhren haben über dem Fußboden der Zimmer offene, mit Schiebern versehene Seitenröhren, aus denen man nach Belieben warme Luft ins Zimmer lassen kann.

§. 190.

Die Entstehung der Winde.

1. Dieselbe Circulation findet im Großen fortwährend in der Atmosphäre Statt. Ueber einer heißen Gegend des Erdbodens steigt die Luft empor, und nahe der Erdoberfläche dringen andere Luftströmungen an ihre Stelle. Diese Luftströmungen nennen wir **Winde**, und sie entstehen meistentheils durch die ungleiche Erwärmung des Erdbodens.

Sehr regelmäßig zeigen dies die an den Küsten herrschenden **Land-** und **Seewinde.** Bei Tage weht ein Wind vom Meere nach dem Lande, weil dies durch die Sonnenstrahlen schneller erwärmt wird; nach Sonnenuntergang bleibt das Wasser länger warm, und das Land erkaltet schneller, weshalb dann ein Wind nach dem Meere zu weht.

2. Die in der heißen Zone am stärksten erwärmte Luft steigt fortwährend in die Höhe, und dafür dringen kältere Luftströme von den Polen, von Norden und Süden her, nahe der Erdoberfläche nach dem Aequator hin; unterdessen strömt die emporgestiegene heiße Luft in höheren Regionen nach den Polen hin. Der von dem Nordpol kommende kalte Luftstrom würde gerade nach Süden, und der vom Südpol kommende gerade nach Norden wehen. Da jedoch die Erde sich um ihre Axe dreht, so

treffen die von den Polen kommenden Luftströmungen nicht den Punkt des Aequators, gegen den sie ursprünglich gerichtet waren; während ihrer Bewegungen haben die in der Nähe des Aequators gelegenen Punkte sich nach Osten bewegt. Die Luftströmungen treffen daher westlicher gelegene Punkte der heißen Zone, gelangen vom Nordpol nach Südwest und vom Südpol nach Nordwest und stellen sich darum im nördlichen Theil der heißen Zone als Nordostwind, im südlichen als Südostwind dar. Diese regelmäßigen Nordost- und Südostwinde in der heißen Zone, welche durch den Kreislauf der ganzen Atmosphäre hervorgebracht werden, führen den Namen **Passatwinde.**

Die in der heißen Zone emporgestiegene Luft strömt zunächst in den höheren Luftschichten nach den Polen zu und wird durch die Axendrehung der Erde so abgelenkt, daß sie auf der nördlichen Halbkugel aus Südwest zu kommen scheint. Daher das Vorherrschen südwestlicher Winde auf der Spitze des Pics von Teneriffa, während darunter auf dem Meere der Nordostpassat weht. Indem die obere Luftströmung sich vom Aequator weiter entfernt und sich abkühlt, senkt sie sich bis zur Erdoberfläche, geht in unseren Gegenden in gleicher Höhe mit der von dem Pol wehenden Luftströmung her und streitet mit ihr um die Herrschaft. Der vom Aequator kommende Südwestwind bringt leichte, warme und feuchte Luft, das Barometer sinkt, und nasses Wetter tritt ein. Der Nordostwind bringt schwerere, kältere und trocknere Luft. Er geht allmählich in einen Ostwind über, der immer noch von den Polen ausgegangen ist; trifft er mit der von Süden her kommenden Luftströmung zusammen, so entsteht ein Wind in südöstlicher Richtung und feuchtes Wetter; darauf pflegt die südliche Luftströmung herrschend zu werden und nach Westen herumzugehen. Es gilt deshalb als Drehungsgesetz des Windes, daß er sich häufiger von Osten durch Süden nach Westen und Norden dreht, als umgekehrt.

---

c. Das Schmelzen fester und das Verdampfen flüssiger Körper.

§. 191.

Das Schmelzen.

Durch die Wärme wird der Zusammenhang zwischen den Theilen eines Körpers vermindert oder ganz aufgelöst, und sie erleiden bei höherer Temperatur entweder eine Zerstörung und Zersetzung, wie die Pflanzen- und Thierstoffe, oder sie gehen in einen andern Zustand über, in welchem der Zusammenhang der Theile geringer ist, aus dem festen in den flüssigen und aus dem flüssigen in den luftförmigen.

Die festen Körper werden durch größere Wärme in flüssige verwandelt, sie **schmelzen.** Während Eis schon bei 0 und Wachs bei 50 Grad schmilzt, wird Zinn erst bei 200, Gold und Eisen sogar erst bei etwa 1000 Grad flüssig. Dagegen schmelzen die Mischungen von Metallen viel leichter, als die einzelnen Metalle; so das Schnellloth der Klempner und beson-

ders das nach seinem Erfinder benannte Rose'sche Metallgemisch aus Wismuth, Zinn und Blei, das kaum die Siedehitze des Wassers zum Schmelzen erfordert und benutzt wird, um von hölzernen Formen metallene Abdrücke für das Bedrucken von Papier oder Zeug zu gewinnen. Werden geschmolzene Körper wieder hinreichend abgekühlt, so kehren sie in den festen Zustand zurück, sie erstarren oder gefrieren.

§. 192.

Das Verschwinden von Wärme beim Schmelzen.

Wenn man ein Gefäß mit Eis auf den warmen Ofen setzt und ein Thermometer hineinstellt, so fällt dasselbe bis auf 0 und bleibt unbeweglich darauf stehen, so lange noch ein Stückchen Eis übrig ist. Alle hinzukommende Wärme wird dazu verwandt, das Eis flüssig zu machen; sie verbindet sich mit dem Eise so innig, daß wir sie nicht mehr bemerken können, und bildet mit ihm Wasser; flüssige Körper bestehen sonach aus festen Körpern und verborgener Wärme. Das Verschwinden von Wärme hindert das plötzliche Schmelzen des Eises in den Strömen, das die verheerendsten Ueberschwemmungen zur Folge haben würde. Die verschwindende Wärme kommt aber aus der Umgebung des schmelzenden Körpers; folglich,

soll ein Körper schmelzen, so muß er seiner Umgebung Wärme entziehen.

Darum bleibt im Frühjahr die Luft kühl, so lange Schnee und Eis wegthauen und ihre Wärme verbrauchen; darum sieht man um eine Flasche mit gefrorenem Wein, die man in kaltes Wasser gestellt hat, sich Eis bilden und den Wein durch die dem Wasser entzogene Wärme aufthauen. Auf der Entstehung von Kälte beim Schmelzen beruhen die **Kältemischungen**, Mischungen von Salzen mit Eis oder kaltem Wasser, die beim Schmelzen Kälte hervorbringen und im Sommer zur künstlichen Bereitung von Eis verwandt werden.

§. 193.

Die Dampfbildung beim Kochen.

Wenn man ein Glas mit dünnen Wänden mit Wasser füllt und über einer Spirituslampe erhitzt, so bilden sich in demselben bald kleine Perlen, die in die Höhe steigen; es sind Luftblasen, die durch die Wärme ausgedehnt und leichter werden. Ist das Wasser heißer geworden, so zeigen sich am Boden des Glases größere Blasen, die ebenfalls emporsteigen, anfangs aber wieder zergehen, ohne an die Oberfläche des Wassers zu gelangen; dies sind Blasen von Wasserdampf, von Wasser, das durch die Wärme in luftförmigen Zustand übergegangen ist, aber während des Aufsteigens von der noch nicht genug erwärmten Flüssigkeit abgekühlt und dadurch gezwungen wird, in den flüssigen Zustand zurückzukehren. Ist aber die ganze Flüssigkeit bis auf 80 Grad erhitzt, so steigen ungleich mehr Dampfblasen auf; sie setzen die ganze Flüssigkeit in Bewegung, kommen bis an die Oberfläche des Wassers und zerplatzen hier.

Die wallende Bewegung einer erwärmten Flüssigkeit, welche durch die in ihr aufsteigenden Dämpfe hervorgebracht wird, nennen wir das Kochen oder Sieden derselben.

§. 194.

Die Rückkehr des Dampfes in die Nebelform und den tropfbarflüssigen Zustand.

So lange der Wasserdampf seine Wärme behält, z. B. unmittelbar über kochendem Wasser, ist er vollkommen durchsichtig und unsichtbar; zugleich ist er leichter, als die Luft, und steigt deshalb in die Höhe. Wird der Dampf in der Luft abgekühlt, so verliert er seine Durchsichtigkeit und die eigentliche **Dampfform** und erscheint nunmehr in der Gestalt eines weißen Nebels oder weißer Wolken. In seiner **Nebelform** ist der Dampf halb verdichtet und bildet hohle Wasserbläschen, die so klein und leicht sind, daß sie von der Luft getragen werden. Hält man über die halbverdichteten, nebelförmigen Dämpfe, die aus kochendem Wasser aufgestiegen sind, einen kalten, festen Körper, so werden sie durch die völlige Abkühlung ganz verdichtet, setzen sich als kleine Tropfen an den kalten Körper und kehren wieder in den **tropfbarflüssigen Zustand** zurück. So athmen wir selbst außer Kohlensäure beständig Wasserdampf aus, der im Sommer in seiner Dampfform völlig unsichtbar bleibt, in der Kälte sogleich als weißer Nebel erscheint und tropfbarflüssig wird, wenn er sich an den Fensterscheiben hinreichend abkühlt, so daß sie beschlagen.

§. 195.

Das Verschwinden von Wärme beim Kochen.

Man hänge ein Thermometer in ein offenes Gefäß mit kochendem Wasser; es wird 80 Grad zeigen und durchaus nicht höher steigen, man mag ein noch so großes Feuer unter dem Gefäße machen. Die neu hinzukommende Hitze wird nur zur Bildung neuer Dämpfe verwandt, die sammt der Wärme davon fliegen. Wie sich Wärme mit einem festen Körper verbinden und ihn flüssig machen kann, so besteht der Dampf aus einem flüssigen Körper und einer Menge von Wärme, die er zu seinem Beste en braucht, und die er erst wieder abgiebt, wenn er flüssig wird.

Eine bereits siedende Flüssigkeit kann in einem offenen Gefäße nicht noch stärker erhitzt werden.

Ein lebhaftes Feuer ist daher unzweckmäßig, wenn die Flüssigkeit nur im Kochen erhalten werden soll, und wird nur zum schnelleren Verdampfen oder Einkochen erfordert.

§. 196.

Die Verzögerung des Kochens durch den Druck der Luft und der Dämpfe.

1. Will man daher eine Flüssigkeit über ihren Siedepunkt hinaus erhitzen, so muß man das Kochen und die Entstehung von Dämpfen verhindern. Nun lastet auf den Dampfblasen, die am Boden eines Kochgefäßes

entstehen und aufsteigen wollen, der Druck der darüber befindlichen Dämpfe und der Luft. Bei **Erhöhung** dieses Drucks würden keine Dampfblasen mehr aufsteigen, welche die Hitze mit fortnehmen, und die Temperatur des Wassers selbst würde erhöht werden. Bedeckt man ein Kochgefäß mit einem **Deckel**, so sammeln sich zwischen ihm und dem Wasser Dämpfe und erschweren durch ihren Druck das Aufsteigen neuer Dampfblasen; die hinzukommende Wärmemenge geht dann in das Wasser selbst über und dehnt zugleich die schon vorhandenen Dämpfe so aus, daß sie den Deckel emporheben und zum Theil entweichen, nachdem das Wasser auf kurze Zeit etwas mehr erwärmt war. Unter sehr hohem Drucke läßt sich Wasser im **Papinischen Topfe** oder **Digestor** erhitzen, einem von dem Arzte Papin erfundenen Metallgefäß mit starken Wänden und einem Deckel, der sich fest aufschrauben läßt und, um das Zerspringen des Gefäßes zu verhindern, mit einem Sicherheitsventil versehen ist; Wasser wird darin so heiß, daß Knochen zu einem Brei zerkochen und der in ihnen enthaltene Leim ausgekocht wird.

Fig. 159.



2. Umgekehrt

muß das Wasser desto leichter kochen, je geringer der Druck der Luft und der Dämpfe ist.

Läßt man Wasser in einer halb gefüllten Flasche kochen, entfernt sie vom Feuer und pfropft sie zu, so wird das Wasser so oft ins Sieden gerathen, als man die Flasche mit kaltem Wasser begießt; aus der Flasche ist durch die Dämpfe fast alle Luft vertrieben, und der Druck der Dämpfe wird entfernt, indem man sie durch Begießen mit kaltem Wasser zu Wasser verdichtet. Eben so leicht kocht lauwarmes Wasser unter der Glocke der Luftpumpe, und schon die Wärme der Hand ist hinreichend, um den Spiritus im Pulshammer zum Sieden zu bringen. Der Pulshammer ist eine an beiden Enden nach oben umgebogene und hier in Kugeln auslaufende Glasröhre, die ein wenig Spiritus enthält und vor dem Zuschmelzen durch Kochen desselben luftleer gemacht ist; nimmt man die eine Kugel in die Hand, so steigen Dampfblasen auf, und die Flüssigkeit wird unter lebhaftem

Fig. 160.



Aufwallen in die andere Kugel getrieben. Auf hohen Bergen ist der Luftdruck geringer, und das Wasser muß deshalb früher kochen, als in der Tiefebene; so siedet auf dem Montblanc Wasser bei 68 Grad R. und auf der Hochebene von Quito in Amerika bei 72 Grad, weshalb das Fleisch dort nur in verschlossenen Gefäßen gahr gekocht werden kann. Ein Berg muß desto höher sein, je früher auf ihm das Kochen eintritt; daher kann man das Thermometer und den Siedepunkt des Wassers benutzen, um die Höhe eines Berges zu bestimmen.

§. 197.

Die Verdunstung.

Auch ohne zu sieden, verwandelt sich Wasser in Dampf. Setzt man eine Schale mit Wasser der freien Luft aus, so vermindert sich das Wasser von Tage zu Tage, bis es zuletzt ganz verschwunden ist; eben so trocknet nasse Wäsche, indem die Feuchtigkeit in Dampf übergeht, und das Regenwasser auf den Straßen verschwindet bei uns im Sommer schnell, während in der heißen Zone nicht selten Cisternen austrocknen. Das Wasser verwandelt sich dabei gleichfalls in Dampf, wie beim Sieden, nur langsamer und ohne Aufsteigen von Dampfblasen im Innern der Flüssigkeit. Der aufsteigende Dampf hat nicht den Druck der Luft zu überwinden (§. 138), sondern nur den des bereits vorhandenen Wasserdampfes und besitzt darum eine äußerst geringe Spannkraft.

Die Verdunstung ist eine langsame Dampfbildung an der Oberfläche einer Flüssigkeit.

Warme Luft nimmt mehr Dämpfe auf, als kältere; sie vermag aber nur eine bestimmte Menge derselben zu fassen.

Die Verdunstung wird durch größere Wärme und durch den Luftzug beschleunigt,

weil durch diesen die feuchte Luft entfernt und trocknere herbeigeführt wird, die begierig Wasserdampf aufnimmt. Daher trocknet der Erdboden schnell, wenn auf den Regen Wind folgt, und darum ist es nothwendig, auf Trockenböden für gehörigen Luftzug zu sorgen.

§. 198.

Die Verdunstungskälte.

Zur Verwandlung des Wassers in Dämpfe ist Wärme nöthig; diese muß dem nicht verdunstenden Theile des Wassers oder seiner Umgebung entzogen werden; daher

wird durch jede Verdunstung Kälte erregt.

Schon das Gefühl überzeugt uns davon, daß es nach einem Regen kühler wird, und daß die Luft eines Zimmers sich abkühlt, wenn der Fußboden mit Wasser besprengt ist, Beides, weil die Wassertropfen der

Luft die zum Verdunsten erforderliche Wärme entziehen; das Anbehalten nasser Kleider hat eine Erkältung zur Folge, weil der menschliche Körper die Wärme hergeben muß, um die Feuchtigkeit in Dampf zu verwandeln. Wein wird dadurch kühl erhalten, daß man nasse Tücher um die Flaschen schlägt, und das Trinkwasser bewahrt man in Spanien in porösen Thongefäßen, in den Alkarazzas, auf, an deren Außenseite das hindurchsickernde Wasser verdunstet.

Wasser läßt sich sogar bloß durch die Verdunstungskälte in Eis verwandeln. Dies ist nicht bloß unter der Glocke einer Luftpumpe möglich (vergl. §. 136, VI), sondern geschieht auch, wenn man eine unten mit einer Kugel versehene Glasröhre mit etwas Wasser füllt, die Kugel auswendig mit Schwefeläther befeuchtet und durch Hin- und Herbewegen derselben die schnelle Verdunstung des Aethers noch mehr beschleunigt; ja zu Benares in Ostindien bereitet man sich künstliches Eis, indem man flache, poröse Thonschalen mit Wasser die Nacht über in niedrigen, mit Zuckerrohr ausgelegten Gruben stehen läßt.

§. 199.

Der Wasserdampf in der Atmosphäre und die Hygrometer.

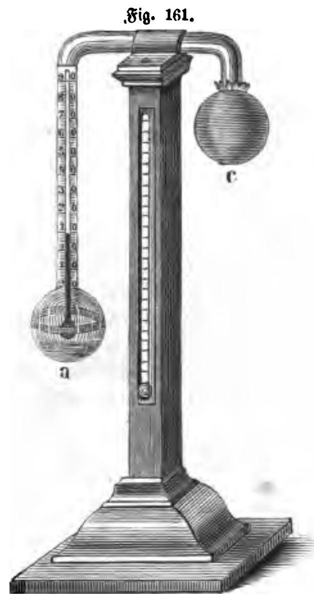
1. An der Oberfläche der Meere und Flüsse, des feuchten Erdbodens und der Pflanzen verdunstet beständig Wasser und verbreitet sich, ohne uns sichtbar zu sein, in Dampfform durch die Atmosphäre. Bei zunehmender Wärme bildet sich eine größere Menge von Wasserdampf, wird aber von der emporsteigenden warmen Luft sogleich mit in die Höhe genommen, so daß der Wassergehalt der unteren Luftschichten dann geringer ist. Die Luft kann jedoch bei jeder Temperatur nur eine bestimmte Menge Wasserdampf in sich aufnehmen, und zwar desto mehr, je wärmer sie ist. Enthält sie wirklich so viel Dampf, als ihrer Wärme entspricht, so ist sie mit Wasserdampf gesättigt; wir nennen die Luft feucht, wenn sie der Sättigung nahe ist, trocken, wenn sie von dem Sättigungspunkte noch weit entfernt ist.

2. Die Feuchtigkeit der Luft läßt sich ungefähr mittels eines **hygroskopischen Körpers** schätzen; so heißen solche Körper, die den Wasserdampf der Luft aufnehmen und sich dabei ausdehnen. Wie das Holz in feuchter Luft anquillt, so verlängern sich besonders Haare, Fischbein und Saiten. Hierauf gründen sich die Wetterhäuschen, in denen eine Saite so an eine bewegliche Scheibe befestigt ist, daß bei trockenem Wetter ein darauf angebrachter Fuchs aus seiner Höhle oder eine Figur mit einem Sonnenschirm zum Vorschein kommt; eben so dient die im Mittelpunkt einer Kreisscheibe befestigte Granne des Storchschnabels als Wetterprophet, indem sie bei feuchtem Wetter sich entwickelt, bei trockenem sich mehr zusammenwindet.

3. Gemessen wird der Wassergehalt der Luft durch die **Hygrometer** oder Feuchtigkeitsmesser, deren Einrichtung folgendes sinnreiche Verfahren zu Grunde liegt. Man hat zunächst aufs Genaueste ermittelt und darüber Tabellen entworfen, wie viel Wasserdampf bei jeder Temperatur die Luft in einem bestimmten Raume enthalten kann, um gesättigt zu sein.

Brächte man in solche gesättigte Luft einen festen, kälteren Körper, z. B. ein Glas, so würden die nächsten Luftschichten erkalten, und ihr Wasserdampf sich zum Theil sogleich verdichten und in der Form kleiner Tropfen an das Glas ansetzen, so daß es beschlägt. Gewöhnlich ist jedoch die Luft nicht gesättigt, sie würde es aber bei unveränderter Menge des Wasserdampfes sein, wenn sie kälter wäre. Indem man daher in jenes Glas ein Thermometer stellt und hineingegossenes Wasser allmählich so lange abkühlt, bis das Glas auswendig beschlägt, untersucht man, bis zu welchem Wärmegrade die das Glas umgebende Luft abgekühlt werden muß, damit der jetzt in der Luft befindliche Wasserdampf zu ihrer Sättigung hinreiche. Wie viel Wasserdampf aber gesättigte Luft bei diesem niedrigeren Wärmegrade enthalte, sieht man aus den ein für alle Mal entworfenen Tabellen, und gerade eben so viel ist zur Zeit des Versuches in der Luft enthalten. Dies Verfahren wird bedeutend durch das Daniell'sche Hygrometer erleichtert; dasselbe besteht aus einer gebogenen Glasröhre mit Kugeln an beiden Enden, deren eine mit Zeug umwickelt ist, während die andere etwas Schwefeläther und ein kleines Thermometer enthält; auf die umwickelte, nur mit Schwefelätherdampf erfüllte Kugel wird Schwefeläther getröpfelt, bis in Folge der Verdunstungskälte die andere Kugel mit feinem Thau beschlägt; das darin befindliche Thermometer zeigt, bei welchem Wärmegrade dies geschehen ist.

Fig. 161.



§. 200.

Thau und Reif.

Aehnlich dem Beschlagen des Glases ist die Bildung des **Thaues** im Großen. In heiteren und windstillen Nächten senden die Gegenstände an der Erdoberfläche Wärmestrahlen (§. 211) in den Himmelsraum, werden kälter, als die Luft, und nöthigen den Wasserdampf der unteren Luftschichten, sich zu verdichten und sich in feinen Tropfen an die kalten Körper anzulegen. Da Gras und Blätter die meisten Wärmestrahlen aussenden und am meisten erkalten, so werden sie vorzugsweise bethaut, wogegen sich an Steine und an den Erdboden weit weniger Thau setzt. Bei bewölktem Himmel thaut es nicht, weil die Wolkendecke, gleich einem vor den Ofen gestellten Schirm, die Verbreitung der Wärmestrahlen und die Erkaltung des Bodens hindert; daher thaut es auch unter Zelten und Decken nicht. Bei windigem Wetter kommt fortwährend noch wärmere Luft mit dem Erdboden in Berührung.

Der **Reif** ist gefrorner Thau; er erscheint, wenn die bethauten Körper bis unter den Eispunkt abgekühlt sind, und besteht aus feinen Eisnadeln.

§. 201.

Nebel und Wolken.

1. **Nebel und Wolken entstehen, wenn aufsteigende Wasserdämpfe in kälterer Luft sich abkühlen.**

Wir sehen die Nebelbildung im Kleinen über jedem Gefäß mit kochendem Wasser, aus welchem der aufsteigende Dampf in die kältere Luft gelangt. Im Großen bildet sich **Nebel**, wenn aus dem wärmeren Wasser der Seen und Flüsse oder aus dem feuchten Erdboden Dämpfe emporsteigen und sich in der kälteren, mit Dämpfen gesättigten Luft halb verdichten, §. 194. Die Wasserbläschen, aus denen der Nebel besteht, werden, den Seifenblasen ähnlich, einige Zeit von der Luft getragen, sinken darauf nieder, fallen auf das wärmere Erdreich oder Wasser und steigen wieder als Dampf auf, so daß die Erscheinung des Nebels einem ununterbrochenen Wechsel von Vergehen und Entstehen sein Bestehen verdankt.

2. **Wolken** sind Nebel in höheren Luftschichten, und Nebel sind auf dem Erdboden liegende Wolken, wie denn Gebirgsreisende auf den Gipfeln der Berge durch Nebel wandern, während den Bewohnern des Thales die Gipfel in Wolken gehüllt erscheinen. Auch innerhalb jeder Wolke herrscht ein steter Wechsel von Vergehen und Wiederentstehen; ja eine ganze Wolke, die sich in wärmere Luftschichten hinabsenkt, kann verschwinden und sich in unsichtbaren Wasserdampf auflösen, und wiederum kann dieser Wasserdampf durch die emporsteigende Luft in die Höhe geführt werden und sich in den kühleren Luftschichten wieder zu einer Wolke umformen. Nach ihrer Gestalt unterscheidet man vier Hauptarten von Wolken: 1) Federwolken, welche nach schönem Wetter zuerst am Himmel erscheinen; 2) Haufenwolken, welche die Gestalt einer Halbkugel haben, gewöhnlich in den letzten Stunden eines schönen Vormittags entstehen und gegen Abend, wann das Emporsteigen der Luft aufhört, sich senken und wieder in Dampf auflösen, so daß der Himmel wieder ganz heiter ist; 3) Schichtwolken, die horizontalen Streifen, die bei Sonnenuntergang erscheinen, und 4) Regenwolken mit blauschwarzer Färbung und großer Dichtigkeit.

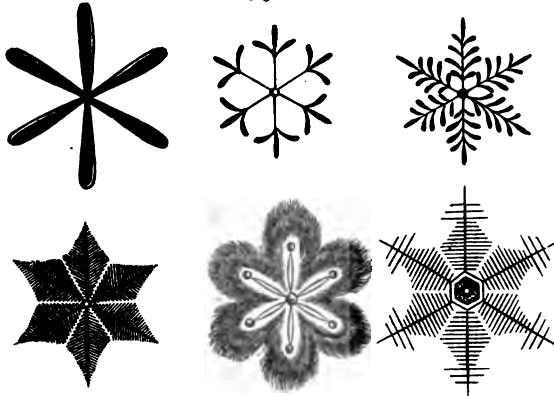
§. 202.

Regen, Schnee und Hagel.

1. Die Regenwolken werden von einem hinreichend warmen Winde getragen und mit fortgeführt. Wenn aber ein kälterer Wind die Regenwolke trifft und ihre Wasserbläschen verdichtet, oder wenn sich der Wind legt, die Regenwolke sich in tiefere, dampferfüllte Luftschichten hinabsenkt, und ihre Wasserbläschen durch das Ansetzen neuer Feuchtigkeit größer und schwerer werden, dann fließen die Wasserbläschen der Wolke zusammen, bilden Tropfen und fallen als **Regen** herab.

2. Im Winter verwandeln sich die aus wärmeren Gegenden herbeigewehten Wasserdämpfe in kälterer Luft wahrscheinlich gar nicht in nebelförmige Wolken, sondern in Wolken, die aus feinen Eisnadeln bestehen. Diese wachsen durch fortwährendes Ansetzen und Gefrieren von Wasserdampf zu **Schneeflocken** an. Die Schneeflocken zeigen sämmtlich eine regelmäßige Gestalt, deren Grundform ein sechseckiger Stern ist.

Fig. 162.



3. Für die Entstehung des **Hagels**, der mitten im heißen Sommer in Eiskörner verwandelten Regentropfen, giebt es bis jetzt keine Erklärung. Die Hagelwolken sind an ihrer grauröthlichen Farbe kenntlich, schweben meistens sehr niedrig und verursachen eine auffallende Dunkelheit. Der Hagelfall kündigt sich durch ein vorhergehendes, rasselndes Geräusch an und wird stets von elektrischen Erscheinungen begleitet; er pflegt nur wenige Minuten zu dauern und mit Sturmeseile über einen schmalen, langen Strich Landes seine verheerenden Wirkungen zu verbreiten.

§. 203.

Die Benutzung des Dampfes zum Kochen, Trocknen und Heizen.

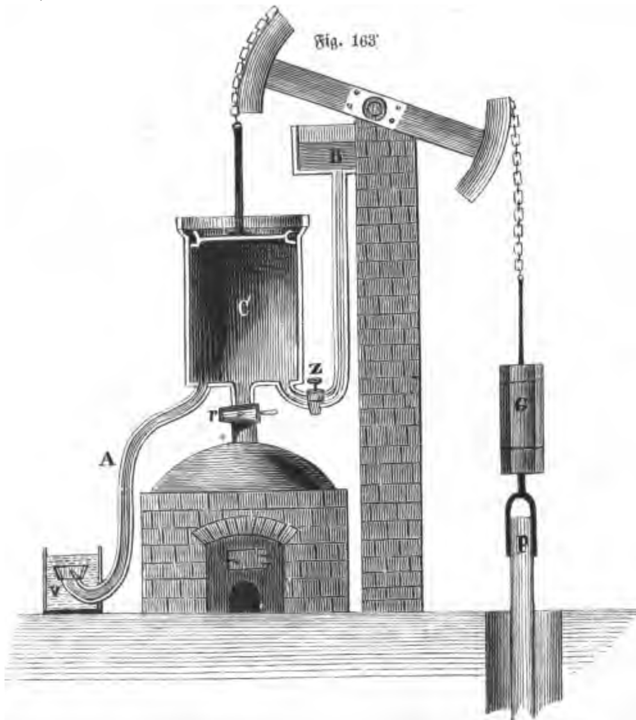
Der durch Sieden gewonnene Wasserdampf läßt eine dreifache Art der Anwendung zu: man benutzt entweder die Wärme des Dampfes, oder man benutzt seine Eigenschaft, sich bei der Abkühlung zu Wasser zu verdichten, zur Herstellung eines leeren Raumes, oder die Spannkraft, mit der er sich auszudehnen strebt.

Auf der Wärme des Dampfes, die sich bei seiner Entstehung mit ihm vereinigt, und die er bei seiner Verwandlung in Tropfen wieder abgiebt, beruht zunächst seine Anwendung zum **Kochen**; die dazu angewandten Gefäße enthalten unten Wasser und darüber ein Sieb, auf welches die zu kochenden Gemüse gethan werden. Ferner werden mit Dampf gefärbte Stoffe und Schießpulver **getrocknet.** Bei der **Dampfheizung** wird in einem ringsum verschlossenen Kessel der Dampf entwickelt und gelangt durch eine weite Röhre in die Dampfleitungsröhren, die fast wagerecht durch die Zimmer oder unter dem Fußboden fortgeleitet sind; indem die Dämpfe sich hierin zu Wasser verdichten, theilt sich ihre Wärme den Röhren mit, das Wasser aber fließt in den Kessel, da die Röhren eine etwas schiefe Lage haben.

§. 204.

Die atmosphärischen Dampfmaschinen.

1. Die erste Idee zum Bau der Dampfmaschinen hat folgender, **von dem Arzte Papin 1695 angestellte Versuch** gegeben. In eine unten verschlossene Röhre goß er etwas Wasser und brachte es über einer Flamme zum Kochen. Als die Dämpfe alle Luft aus der Röhre vertrieben hatten, schob er oben in dieselbe einen luftdicht anschließenden Kolben und tauchte die Röhre in kaltes Wasser; da sank der Kolben hinab. In der Röhre befanden sich nämlich nur Wasserdämpfe, die Luft war durch dieselben verdrängt; werden nun die Dämpfe durch Abkühlung verdichtet, so bildet sich Wasser, das einen 1700 Mal kleineren Raum einnimmt, und es entsteht unter dem Kolben ein leerer Raum; oben aber lastet auf ihm der ganze Druck der Luft; dieser Druck der atmosphärischen Luft drückt den Kolben hinab.



2. Dies Verfahren, durch Verdichtung von Dämpfen einen leeren Raum hervorzubringen und den Druck der Luft wirken zu lassen, wandte der Erfinder der Dampfmaschine, der Hauptmann Savery, bei der Maschine an, die er 1699 in der Absicht erbaute, das sich in einem Bergwerke sammelnde Wasser fortzuschaffen. Ein anderer Engländer, Newcomen, verbesserte die Maschine, die nun folgende Einrichtung hatte. In einen passen-

den Feuerraum war der **Dampfkessel** eingemauert; derselbe war von Eisen und hat jetzt meistentheils die Gestalt einer weiten, an beiden Enden verschlossenen Röhre. Aus dem oberen Theile des Kessels führt eine Röhre, das **Dampfrohr**, das mit einem Hahn versehen ist, um den Dämpfen den Durchgang zu gestatten oder zu verschließen; das Dampfrohr mündet in den unteren Boden eines weiten eisernen Cylinders, des **Dampfcylinders** C, der oben offen ist und der atmosphärischen Luft gestattet, abwärts auf den **Kolben** zu drücken, der sich in dem Dampfcylinder auf und ab bewegen soll. Das kalte Wasser aber, das in denselben gelassen werden muß, um darin den Dampf zu verdichten und unter dem Kolben einen leeren Raum hervorzubringen, befindet sich in einem etwas höher aufgestellten Wasserbehälter B und fließt durch eine Röhre in den unteren Theil des Cylinders, wenn ein in derselben befindlicher Hahn geöffnet wird. Der Kolben hängt an dem einen Ende eines starken **Wagebalkens**, während an dessen anderes Ende ein Gewicht und die Stange einer Pumpe befestigt ist, die durch die Maschine in Bewegung gesetzt werden soll. Das Gewicht und die Pumpenstange sind zusammen so schwer, daß sie, wenn ihnen keine andere Kraft entgegenwirkt, hinabsinken und den Kolben in die Höhe ziehen.

3. Befindet sich daher der Kolben in dem oberen Theile des Dampfcylinders, so öffnet man den Hahn r des Dampfrohres und läßt den Dampf in den Cylinder strömen. Die Luft entweicht, wie nachher das kalte Wasser, aus dem unteren Theile des Cylinders durch eine Abflußröhre A, die in ein Gefäß mit Wasser mündet und darin durch ein sich nach oben öffnendes Ventil verschlossen ist. Nachdem man darauf den Hahn des Dampfrohrs geschlossen, öffnet man den Hahn z der aus dem Wasserbehälter führenden Zuflußröhre und läßt kaltes Wasser in den Dampfcylinder; dadurch werden die Dämpfe verdichtet; es entsteht unter dem Kolben ein dampf- und luftleerer Raum, und **der Luftdruck bewegt den Kolben hinab.** Der Dampf, den man nun wieder in den Cylinder strömen läßt, wirkt kaum stärker, als die atmosphärische Luft; aber **die Schwerkraft zieht den Kolben wieder empor**, indem sie an dem anderen Ende des Wagebalkens durch das Gewicht und die Pumpenstange wirksam ist. Aehnlich gebaute Maschinen werden noch jetzt unter dem Namen der **atmosphärischen Dampfmaschinen** zuweilen angewandt, wo bedeutende Wassermengen ausgepumpt werden sollen.

§. 205.

Die Erfindung des Condensators.

Der Mechaniker Watt, dem die Dampfmaschinen zum größten Theil ihre jetzige Vollkommenheit verdanken, erhielt von der Universität zu Glasgow eine Maschine mit atmosphärischem Druck und erkannte bald, daß nach dem Einspritzen des kalten Wassers in den Dampfcylinder eine Menge Dampf bloß zur Wiedererwärmung desselben verschwendet und eine Menge Brennmaterial unnütz aufgewandt wurde. Ein Versuch führte ihn dazu, diesem Uebelstande mit Glück abzuhelfen. Er hatte eine Flasche zum Theil mit Wasser gefüllt, leitete aus ihrem durchbohrten Kork eine Röhre durch den Kork einer anderen, leeren Flasche und setzte außerdem die gefüllte Flasche durch eine längere abwärts führende Röhre mit der atmosphärischen Luft in

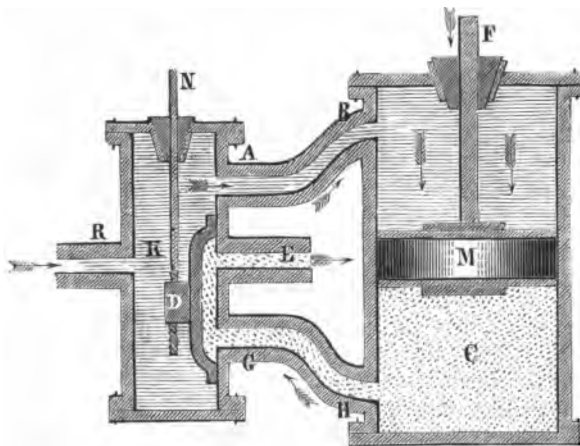
Verbindung. Erwärmte er nun beide Flaschen, so entwickelten sich aus dem Wasser Dämpfe, erfüllten die Flaschen und verdrängten die Luft. Darauf tauchte er die hinabführende Röhre in ein Gefäß mit Quecksilber, die beiden Flaschen aber in kaltes Wasser; sogleich wurden die Dämpfe verdichtet, es entstand ein leerer Raum, und der Luftdruck trieb das Quecksilber in der langen Röhre empor. Jetzt erwärmte er beide Flaschen wieder, bis die Dämpfe das Quecksilber völlig hinabgedrückt hatten; statt aber, wie vorhin, beide Flaschen abzukühlen, stellte er nur die ursprünglich leere in kaltes Wasser; merkwürdiger Weise wurden die Dämpfe eben so verdichtet, und das Quecksilber stieg eben so hoch, wie zuvor. So hatte Watt das Gesetz gefunden, daß der Dampf in einem verschlossenen Raume die Form annimmt, welche dem kältesten Theile desselben entspricht. Man kann also, statt den Dampfcylinder abzukühlen, die Dämpfe in einem besonderen, mit ihm verbundenen Gefäße verdichten. Daher brachte Watt im Jahre 1765 in der Dampfmaschine als eine wesentliche Verbesserung ein ringsum verschlossenes Gefäß zum Verdichten oder Condensiren des Dampfes, den **Condensator**, an.

§. 206.

Die Watt'sche Dampfmaschine.

Die zweite Verbesserung, welche Watt an der Dampfmaschine vornahm, war, daß er nicht mehr den Druck der atmosphärischen Luft benutzte, sondern den Dampfcylinder oben verschloß und den Kolben **durch die Spannkraft des Dampfes** bewegen ließ. Er leitete, um den Kolben durch die Spannkraft des Dampfes hinabzubewegen, den Dampf über den Kolben und brachte zugleich unter dem Kolben, durch Fortführung der dort befindlichen Dämpfe in den Condensator, einen leeren Raum hervor; eben so wurde der Kolben empor bewegt, indem Dämpfe mit voller Spannkraft unter ihn traten, und über ihm ein leerer Raum sich bildete. Endlich erfand Watt eine geeignete Vorrichtung, um den frischen Dampf bald über, bald unter den Kolben und gleichzeitig den verbrauchten Dampf von der andern Seite des Kolbens in den Condensator zu leiten, die **Schiebersteuerung**, und gab der Maschine die nöthigen Pumpen.

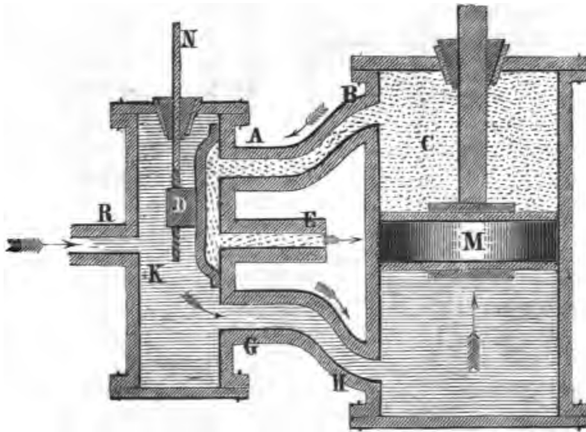
Fig. 164.



In der **Watt'schen Dampfmaschine** ist der **Dampfcylinder** oben und unten verschlossen; die Stange seines Kolbens geht luftdicht zwischen Lagen von Hanf durch den oberen Boden des Cylinders und setzt **den Wagebalken** oder **Balancier** BFG in Bewegung. An dem anderen Ende des Balanciers G ist eine abwärts führende Stange, die Bläuelstange, angebracht, welche von ihm ihre Bewegung erhält und mittels einer Kurbel uZ ein großes **Schwungrad** dreht. (Fig. 166.)

Der Dampf gelangt aus dem Kessel durch das Dampfrohr R (Fig. 164 und 165) zuerst in einen verschlossenen Behälter, **die Dampfkammer** K, dicht neben dem Dampfcylinder. In den Cylinder führen aus der Dampfkammer zwei Dampfkanäle A B und G H, der eine nahe dem oberen, der andere nahe dem unteren Boden des Cylinders; außerdem steht die Dampfkammer durch einen dritten Kanal E mit dem unterhalb des Dampfcylinders angebrachten Condensator (A in Fig. 166) in Verbindung. In der Dampfkammer befindet sich das **Schieberventil** D, das dazu dient, den aus dem Kessel kommenden Dampf auf die eine Seite des Kolbens M zu leiten und zugleich dem zu verdichtenden Dampfe auf der andern Seite des Kolbens den Weg nach dem Condensator zu öffnen. Das Schieberventil D, von seiner Gestalt auch Muschelschieber genannt, ist ein hohler Kasten, der nur auf der dem Dampfcylinder zugekehrten Seite offen ist und hier genau an die Wand der Dampfkammer anschließt. Die Figur 164 stellt die untere, Figur 165 die obere Stellung des Schiebers dar. Hat der Schieber seine **untere Stellung**, dann ist erstlich der obere Dampfkanal, welcher Dampfkammer und Dampfcylinder verbindet, AB frei, und der frische Dampf tritt über den Kolben M. Zweitens verbindet der Schieber in seiner unteren Stellung den unteren Kanal GH mit dem mittleren E, oder er verbindet den unteren Theil des Dampfcylinders C mit dem Condensator, in welchen der mittlere Kanal führt; der zu verdichtende Dampf gelangt also aus dem unteren Theil des Cylinders durch den Schieber in den Condensator. Wenn der Schieber seine untere Stellung einnimmt, bewegt sich der Kolben des Dampfcylinders nach unten. Giebt man dagegen, wie in Figur 165, dem Schieberkasten D seine **obere Stellung**, so wird erstlich der untere Dampfkanal GH frei; der frische Dampf tritt unter den Kolben und treibt ihn empor. Zweitens stellt das Schieberventil in seiner oberen

Fig. 165.



Stellung die Verbindung zwischen dem oberen und dem mittleren Dampfkanal, zwischen AB und E, oder zwischen dem oberen Theil des Dampfcylinders und dem Condensator her, so daß der Dampf im oberen Theil des Cylinders verdichtet wird und der Bewegung des Kolbens M nach oben kein Hinderniß entgegenstellt.

Fig. 166.

Die angemessene Stellung giebt die Maschine selbst dem Schieberventil, indem sie eine an die Hauptaxe befestigte **excentrische Scheibe** S (§. 108, 3) umdreht, dadurch die Schubstange S T und den Winkelhebel T 1, 2 hin und her bewegt und so die Stange des Schieberventils, welche luftdicht durch die untere Wand der Dampfkammer K (Fig. 166) führt, auf und nieder zieht.

Der Condensator A ist von kaltem Wasser umgeben, das seitwärts durch die Röhre a hineinströmt und die Verdichtung des Dampfes bewirkt. Das eingeströmte und durch die Dämpfe etwas erwärmte Wasser sammt der in dem Condensator enthaltenen Luft wird durch die **Luftpumpe**, eine Saug-

pumpe L, fortgeschafft, die unten durch eine Seitenröhre mit dem Condensator verbunden ist. Eben so wichtig sind zwei andere Pumpen, von denen die eine, die Speisepumpe D, das aus dem Condensator geschaffte, etwas erwärmte Wasser in den Dampfkessel bringt, die andere, die Kaltwasserpumpe E, den Condensator mit kaltem Wasser umgiebt. Alle Pumpen werden mittels geeigneter Vorrichtungen durch den Balancier in Bewegung gesetzt. Die Axe des Schwungrades theilt dem Regulator P mit Hülfe von zwei gezahnten Rädern ihre Bewegung mit; ist die Bewegung zu schnell, so heben sich die schweren Metallkugeln des Regulators und geben durch einen Hebel einem Ventil in dem aus dem Kessel führenden Dampfrohr R eine solche Stellung, daß weniger Dampf in den Dampfkasten gelangt und die Bewegung langsamer wird. Die Stangenverbindung B M N H heißt das Watt'sche Parallelogramm und dient dazu, die senkrecht auf und nieder gehende Bewegung der Kolbenstange J in die bogenförmige Bewegung des Wagebalkens umzuwandeln.

§. 207.

Niederdruckmaschinen und Hochdruckmaschinen.

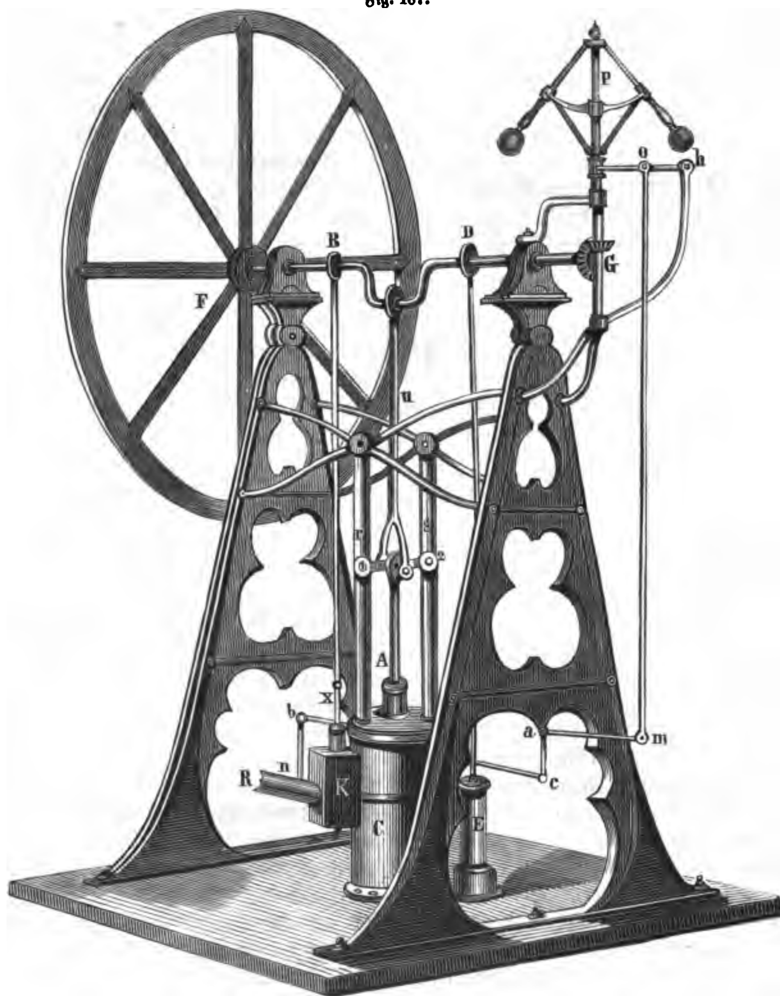
Die sich in siedendem Wasser bildenden Dampfblasen könnten nicht aufsteigen, wenn ihre Kraft, sich auszudehnen, nicht etwas größer wäre, als der Druck der Atmosphäre, der sie hinabdrückt. Solcher Dampf, der, wie das siedende Wasser, eine Temperatur von 80 Grad hat, ist Dampf von geringerer Spannkraft oder von niederem Druck. Erhitzt man dagegen den Wasserdampf stärker, so wächst mit seiner Wärme auch seine Spannkraft, und er übt einen bedeutenderen, hohen Druck aus, der drei Mal so groß, als der der Luft sein, oder 4, 5 und mehr Atmosphären betragen kann.

In der Watt'schen Maschine wird Dampf von niederem Druck angewandt. In den **Niederdruckmaschinen** wird, wenn frischer Dampf auf die eine Seite des Kolbens tritt, auf der andern durch Verdichtung des Dampfes ein leerer Raum hervorgebracht. Die Hervorbringung des leeren Raumes ist bei ihnen durchaus nothwendig; denn wenn man den verbrauchten Dampf, statt in den Condensator, in die freie Luft ausströmen ließe, so würde atmosphärische Luft auf die eine Seite des Kolbens gelangen, und der frische Dampf auf der andern Seite könnte den Kolben nicht bewegen, da sein Druck kaum größer ist, als der der Luft. Es muß also, wenn der verbrauchte Dampf in die Luft ausströmen, und der Condensator entfernt werden soll, der Druck der Luft überwunden werden, und Dampf von hohem Druck ihr entgegenwirken. So wird wirklich in den **Hochdruckmaschinen** Dampf von hoher Temperatur und Spannkraft angewandt und strömt nachher, ohne verdichtet zu werden, in die Atmosphäre. Niederdruckmaschinen sind daher Dampfmaschinen mit einem Condensator, Hochdruckmaschinen ohne Condensator.

Durch das Wegfallen des Condensators und der zu ihm gehörigen Pumpen werden die Hochdruckmaschinen um vieles einfacher und nehmen weniger Raum ein; deshalb werden sie zur Bewegung der Locomotiven angewandt.

Dagegen werden nach dem Muster der Watt'schen Niederdruckmaschine alle *feststehenden Dampfmaschinen* gebaut, z. B. in Dampfmühlen, ferner in *Dampfschiffen*, wo ihre Wagebalken zwei Schaufelräder an beiden Seiten des Schiffes in Bewegung setzen. Das erste große Dampfschiff ist im Jahre 1807 von dem Nordamerikaner *Robert Fulton* erbaut worden.

Fig. 167.



In den *Schraubendampfschiffen* setzt die Dampfmaschine die Schiffsschraube in schnelle drehende Bewegung; die Schiffsschraube liegt in einem durchbrochenen Raum des Schiffes in der Nähe des Steuerruders und besteht entweder aus einem ganzen Schraubengang von 5 bis 9 Fuß Durchmesser oder aus mehreren Theilen eines Schraubenganges, die an dieselbe

Stelle der Axe befestigt sind; wie sich ein in Drehung versetzter Korkzieher in den Kork oder eine Schraube ins Holz hineinbewegt, so dringt die Schiffsschraube weiter ins Wasser ein und zieht das Schiff mit sich fort.

Eine Hochdruckmaschine ist in Fig 167 dargestellt. Aus dem Dampfrohr R gelangt der Dampf in die Dampfkammer K und in den Dampfcylinder C. Die Kolbenstange A muß genau senkrecht auf und niedersteigen und ist mit einer Geradführung versehen; an den oberen Theil der Kolbenstange ist eine wagerechte Querstange befestigt, die Enden derselben tragen zwei Rollen 1 und 2, und diese berühren die beiden festen senkrechten Stäbe r und s, welche ein Ausweichen der Kolbenstange nach der Seite nicht zulassen. Oben in die Kolbenstange ist die Bläuelstange U eingelenkt, und diese dreht mittels eines Krummzapfens die Hauptaxe BG der Maschine und das an diese befestigte Schwungrad. An der Axe sind zwei excentrische Scheiben; die erste B zieht die Stange des Schieberventils auf und nieder; die zweite excentrische Scheibe D bewegt den Kolben der Speisepumpe E, welche Wasser in den Dampfkessel schafft. Der Centrifugalregulator P erhält gleichfalls seine Bewegung von der Hauptwelle mittels zweier Kegelräder G; er bewegt den Hebel oh, der in h unterstützt ist, und durch die Stange om, den Winkelhebel mac und die Stange cb den Hebel bn und durch ihn das Drosselventil bei n im Dampfrohr, durch welches Ventil der Zutritt des Dampfes zur Dampfkammer regulirt wird.

§. 208.

Die Locomotive.

Die Locomotiven der Eisenbahnen sind immer Hochdruckmaschinen. Den größten Raum in der Locomotive nimmt der **Dampfkessel** ein, der in kurzer Zeit eine möglichst große Menge Dampf liefern muß und von dem Schornstein bis an das andere Ende des Wagens reicht; der Dampf sammelt sich in den oberen Theilen des Kessels oder der Locomotive, besonders in der weiten, kuppelartig gewölbten Röhre, der Dampfkuppel C, die über den Hinterrädern emporsteigt. Bei den Hinterrädern ist der **Feuerraum** B eingerichtet, auf drei Seiten vom Dampfkessel umgeben, unten aber mit einem Roste versehen; aus dem Feuerraum führen über 100 messingene, wagerecht liegende Röhren durch den Dampfkessel hindurch in den Schornstein, und die in dieselben schlagende Flamme sammt dem hindurchziehenden Rauche erhitzen in hohem Maße das Wasser des Dampfkessels, das die Röhren umspült. Der dadurch reichlich entwickelte Dampf steigt in die Dampfkuppel und gelangt von hier durch ein hinabführendes Dampfrohr in die Dampfkammer, die unter dem Schornstein angebracht ist. Die Dampfkammer, so wie der **Dampfcylinder** D, der sich unter oder neben ihr, vor den Vorderrädern der Locomotive, befindet, haben eine liegende Stellung, so daß auch die **Kolbenstange** sich nicht nach oben und unten bewegt, sondern wagerecht hin und her geschoben wird, je nachdem das Schieberventil des Dampfkastens den Dampf auf die eine oder die andere Seite des Kolbens treten läßt. Die Kolbenstange dreht durch eine Kurbel die **großen Mittelräder** des Wagens, während die vier kleineren Räder nur mitlaufen, und schiebt zugleich das Schieberventil hin und her. Der Dampf, der seine Wirkung gethan hat,

strömt aus der Dampfkammer bei jedem Hin- und Hergang des Kolbens, also stoßweise, in den **Schornstein** und dient noch dazu, den Luftzug im Feuerraum zu vermehren; daher das eigenthümliche Geräusch in dem Schornstein einer fahrenden Locomotive. Uebrigens finden sich an der Maschine zwei Cylinder mit ihren Schieberventilen und Kolbenstangen.

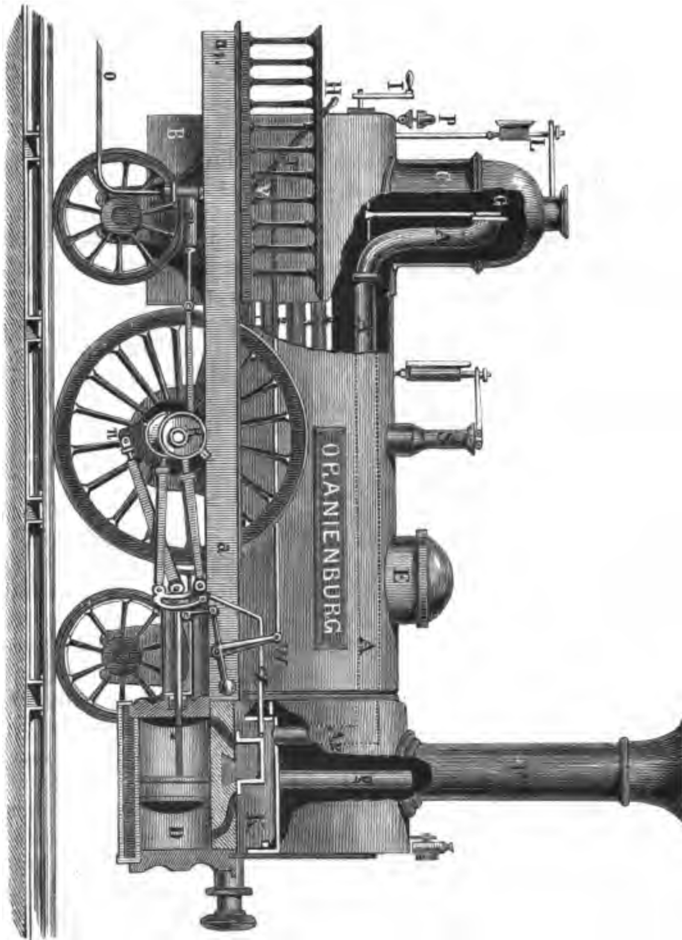


Fig. 168.

Außerdem ragt oben aus der Locomotive eine Röhre s hervor, das **Sicherheitsventil**; es ist ein Ventil, das durch eine Feder hinabgedrückt wird, sich jedoch nach oben öffnet und dem Dampf auszuströmen gestattet, wenn seine Spannkraft zu groß geworden ist. Ein zweites Sicherheitsventil ist in der Dampfkuppel bei L und ist dem Locomotivenführer zugänglich. Der Locomotivenführer hat es ganz in seiner Gewalt, nicht bloß den Dampf

wirkungslos aus dem Sicherheitsventil ausströmen zu lassen, sondern auch, ob er vorwärts oder rückwärts fahren will. Um rückwärts zu fahren, ändert er durch eine an die Steuerung befestigte Stange die Stellung des Schieberventils. Gesetzt, der Kolben stände in der Mitte seines Cylinders, und die Kolbenstange müßte beim Vorwärtsfahren sich noch weiter nach der linken Seite, den Hinterrädern zu, bewegen, so läßt sich die Stellung des Schieberventils durch Bewegung der Rückstange HTV ändern. Der Dampf tritt dann auf die linke Seite des Kolbens, und die Kolbenstange bewegt sich nach rechts und dreht, statt weiter vorwärts, das große Mittelrad rückwärts.

C. Die Verbreitung der Wärme.

§. 209.

I. Die Verbreitung der Wärme durch Leitung.

Wenn man einen kurzen Drath mit dem einen Ende in eine Flamme hält, so fühlt man bald, daß sich die Wärme bis zu dem andern Ende verbreitet; die durch die Wärme erhitzten Körpertheilchen theilen ihre Wärme den nächsten, sie berührenden, und diese den folgenden mit, bis sie sich zu den entferntesten verbreitet hat. Diese Verbreitung der Wärme von jedem Körpertheilchen zu dem nächsten, mit ihm in unmittelbarer Berührung stehenden wird die **Leitung** der Wärme genannt. Ein Schwefelholz, das an dem einen Ende brennt, zeigt an dem anderen keine merkliche Zunahme der Wärme; wie das Holz, nehmen auch viele andere Körper die Wärme langsam auf und verbreiten sie langsam durch ihre Masse; sie heißen schlechte Wärmeleiter, während die guten Wärmeleiter die Wärme schnell durch ihre Masse verbreiten.

Gute Wärmeleiter sind die Metalle;
schlechte Wärmeleiter sind eingeschlossene Luftschichten, Wasser und Schnee; Wolle, Pelz und Leinwand; Stroh, Papier und Holz.

Jedoch verbreitet sich die Wärme im Wasser und in der Luft, wenn ihre unteren Schichten erwärmt werden, bald in Folge der in ihnen eintretenden Strömungen, §§. 188—190.

Auf unser Gefühl machen gute und schlechte Wärmeleiter, wenn sie gleich warm sind, einen ungleichen Eindruck; ein kaltes Metallstück raubt der Hand, da sich die Wärme schneller durch seine Masse verbreitet, ungleich mehr Wärme, als eben so kaltes Holz; umgekehrt fühlt sich erwärmtes Metall weit heißer an und theilt der Hand schneller die aus seiner ganzen Masse forteilende Wärme mit, als ein eben so heißes Holzstückchen, durch dessen Masse sie langsamer bis an die von der Hand berührten Stellen gelangt.

§. 210.

Anwendung guter und schlechter Wärmeleiter.

Gute Wärmeleiter werden angewandt, wenn man Wärme schnell verbreiten, schlechte, wenn man sie irgendwo zurückhalten will.

Um Wasser schnell zum Sieden zu bringen, wendet man daher Metallgefäße an, und um die Luft eines Zimmers bald zu erwärmen, eiserne Oefen.

Dagegen bewahren die schlecht leitenden Kleiderstoffe dem Körper, und die zwischen Doppelfenstern und Doppelthüren eingeschlossene Luftschicht dem Zimmer seine Wärme; der Schnee sammt der in seinen Zwischenräumen enthaltenen Luft hält in den Saaten, das Stroh in den damit umwickelten Bäumen oder Brunnen eine hinreichende Wärmemenge zurück. Und wie durch schlechte Wärmeleiter das Verlieren der vorhandenen Wärme gehindert wird, so schützen sie auch gegen das Eindringen neuer Wärme; so halten die hölzernen Griffe an Metallgefäßen und Plätteisen von der Hand, ein untergelegtes Stück Papier von dem Glase auf dem heißen Ofen, die Bedeckung mit Stroh von den Eiskellern die Hitze zurück.

§. 211.

II. Die Verbreitung der Wärme durch Strahlung.

1. Bei der Leitung theilt jedes Körpertheilchen dem nächsten Wärme mit; aber die Wärme kann sich auch einem entfernten Körper mittheilen, ohne daß die dazwischen liegenden Körper erwärmt werden. Wenn man an dem Feuer einer Heizung vorübergeht, so fühlt man eine brennende Hitze, so lange man die Gluth sehen kann, und doch ist die zwischen uns und dem Feuer befindliche Luft keineswegs bis zu solchem Grade erwärmt. Eben so empfindet man die von einem Ofen ausgehende Hitze, wenn man ihm die flache Hand bis auf wenige Fuß nahe bringt; diese Wärme ist nicht der Luft eigen, sondern kommt auf geradem Wege, ohne sich der Luft mitzutheilen, von dem Ofen und verschwindet augenblicklich, sobald man in die gerade Linie zwischen der Hand und dem Ofen ein Buch oder einen Schirm bringt.

Die Wärme verbreitet sich von den wärmeren Körpern nach allen Seiten in geraden Linien.

Wie der gerade Weg des Lichts ein Lichtstrahl heißt, so nennt man den geradlinigen Weg der Wärme einen Wärmestrahl und die sich so verbreitende Wärme strahlende Wärme. Wärmestrahlen gehen auch von dunklen, nicht leuchtenden Körpern aus, z. B. von einem Ofen, einem mit Wasser gefüllten Gefäße, und auch die dunklen Wärmestrahlen lassen sich, wenn ihre Wirkung auch noch so gering ist, durch das empfindlichste Werkzeug zum Messen der Wärme, durch die Thermosäule (§. 52), wahrnehmen.

2. Die Wärmestrahlen gehen ungehindert durch die Luft und durch Steinsalz, ohne von ihnen aufgenommen zu werden, wie die Lichtstrahlen durch durchsichtige Körper.

Von dunklen und weniger dichten Körpern werden Wärmestrahlen schnell aufgenommen und schnell wieder ausgesandt.

Daher nimmt Kienruß unter allen Körpern die meisten Wärmestrahlen auf, unten mit Ruß überzogene Kessel werden schneller er-

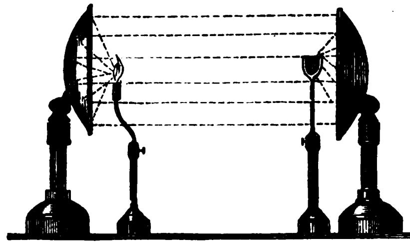
wärmt; eiserne Oefen läßt man rauh und unpolirt, damit sie die Wärme schnell ausstrahlen. Schwarze Handschuhe sitzen im Sommer sehr warm, weil sie sehr viele Wärmestrahlen aufnehmen. Rings um dunkle Pfähle schmilzt der Schnee früher, als an andern Stellen, und als Franklin verschiedenartige Tuchstückchen im Sonnenschein auf den Schnee ausgebreitet hatte, war unter den dunkleren am meisten Schnee geschmolzen.

3. Dagegen

werden von hellfarbigen und polirten Körpern die Wärmestrahlen zurückgeworfen, sehr langsam aufgenommen und eben so langsam wieder ausgesandt.

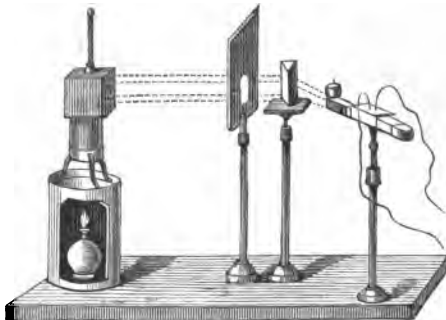
Polirte Kaffeemaschinen und glänzende silberne Speisendeckel lassen die Getränke und Speisen ihre Wärme langsamer durch Strahlung verlieren; hellfarbige Sommerkleider nehmen weniger Sonnenwärme auf; im Winter werfen weiße Unterkleider dem Körper die von ihm ausgesandten Wärmestrahlen wieder zu und erhalten ihm seine Wärme. In polirten Metallgefäßen bleibt das Trinkwasser im Sommer kühler, weil sie die Wärmestrahlen abhalten, und ein Feuerschirm am Heerde wirft diesem die Wärme zu und erhält die Küche kühler.

Fig. 169.



4. Die Zurückwerfung und Brechung von Wärmestrahlen geschieht nach denselben Gesetzen, wie die der Lichtstrahlen. Wenn man daher **zwei Hohlspiegel** aus Messing, 10 Fuß von einander entfernt, so gegenüberstellt, daß ihre Brennpunkte in eine wagerechte Linie fallen, und in den Brennpunkt des einen eine Flamme bringt, so entzünden sich in dem des andern leicht entzündliche Stoffe, während an den dazwischen liegenden Punkten keine größere Wärme zu spüren ist. Wird ein Gefäß mit heißem Wasser in den Brennpunkt des einen Hohlspiegels gebracht, so steigt ein empfindliches Thermometer in des anderen Brennpunkte augenblicklich. Vom Wasser gehen nach dem nächsten Hohlspiegel Wärmestrahlen, werden von ihm nach §. 158, 1 parallel mit der Axe zurückgeworfen, treffen den zweiten Spiegel und werden durch die Zurückwerfung von ihm in seinem Brennpunkte vereinigt.

Fig. 170.



5. Durch ein Prisma von Steinsalz werden die dunklen Wärmestrahlen, wie sie von einem Gefäß mit heißem Wasser ausgehen, gebrochen und von ihrem Wege abgelenkt; stellt man alsdann die Thermosäule, deren

Dräthe zu einem (in Fig. 170 nicht mitgezeichneten) Multiplicator führen, so, daß die gebrochenen Strahlen auf die Löthstellen (§. 52) an ihrem einen Ende fallen, so erfolgt sogleich ein Ausschlag der Multiplicatornadel.

Indem fast alle Körper in jedem Augenblick Wärme aufnehmen und wieder Wärmestrahlen aussenden, herrscht auch im Reiche der Wärme ein beständiger Austausch und ein ununterbrochenes, wechselvolles Leben.

§. 212.

Die Natur der Wärme.

Die in Strahlen sich verbreitende Wärme steht durchaus unter ganz ähnlichen Gesetzen, wie das Licht; sie wird nicht bloß nach denselben Gesetzen durch Brennspiegel zurückgeworfen und in einem Brennglase gebrochen, sondern auch bei der Brechung durch ein Prisma, wie das Licht in Farben, in Wärmestrahlen von verschiedener Beschaffenheit zerlegt. Diese ungemeine Aehnlichkeit, sowie der Umstand, daß so häufig Licht- und Wärmeerscheinungen einander begleiten, weist auf eine gemeinsame Quelle des Lichts und der Wärme, den Aether, hin. Wie ferner bei der Interferenz des Lichts, §. 179, die einander entgegengesetzten Schwingungen des Aethers in zwei fast gleichlaufenden Lichtstrahlen Dunkelheit zur Folge haben, so giebt es auch eine Interferenz von Wärmestrahlen, bei der durch das Hinzukommen von Wärme zu Wärme Kälte erregt wird; ein Beweis, daß die Wärme ebenfalls durch schwingende Bewegungen entsteht, die bei der Interferenz einander entgegengesetzte Richtungen haben und darum Ruhe bewirken.

Die Wärme scheint sonach, wie das Licht, **durch Schwingungen des Aethers** zu entstehen, die **umfangreicher und langsamer** sind und sich unserem Gefühl kundgeben, während sie dem Auge erst sichtbar werden, wenn sie eine bestimmte Geschwindigkeit erreichen, gleichwie das Ohr die Schwingungen einer Saite erst bei hinreichender Geschwindigkeit derselben vernimmt. Die Wärme eines Körpers scheint mit der Weite oder Größe der Aetherschwingungen zu wachsen und ihn durch dieselben auszudehnen; jenes merkwürdige Verschwinden von Wärme beim Schmelzen und Verdampfen, §§. 192, 195 und 198, scheint ein Uebergehen des Aethers selbst in die sich bildenden, weniger dichten Körper zu sein, von denen er einen nothwendigen Bestandtheil ausmacht. Durch Nichts aber können diese Schwingungen leichter erregt werden, als durch das Hin- und Herbewegen an einander geriebener Körper.

Schluß.

§. 213.

Die Einheit in der Mannichfaltigkeit der Naturkräfte.

Erheben wir den Blick aus der Mannichfaltigkeit der auf Erden thätigen Naturkräfte zu den erhabenen Erscheinungen des Himmelsraumes, so gehorchen auch alle Himmelskörper der **allgemeinen Anziehungskraft,** die der Schöpfer als **Urkraft** in alles Körperliche gelegt hat; wo Körper sind, im Himmelsraume und auf Erden, da waltet diese Kraft, sie bindet unter dem Namen der **Schwerkraft** alles Irdische an unsere Erde, bindet den Erdball an die Sonne und aller Sonnen Heere an einander, daß sie ein großes Ganze ausmachen. Und wie sie das Größte vereint hält, so hält sie unter dem Namen **Cohäsion** auch das Kleinste, die Theilchen eines Körpers, zusammen und erscheint in manchen Körpern, die wir elastische nennen, so lebendig, daß sie die irgendwie gestörte Ordnung der Körpertheilchen allmählich, unter schwingender Bewegung der Körper, wieder herstellt und dem Ohre die Wiederherstellung der gestörten Harmonie durch die Entstehung von **Tönen** anzeigt.

Gegenüber diesen durch die allgemeine Anziehungskraft bewirkten Schwingungen und fortschreitenden Bewegungen der **Körper** nimmt die Physik noch einen überaus feinen und elastischen, der Anziehungskraft nicht unterworfenen Stoff, den **Aether,** an, durch dessen schnellere oder langsamere Schwingungen **Licht** und **Wärme** entstehen. Es müßte aber der Aether nicht bloß die Theilchen eines jeden Körpers als eine feine Hülle umgeben, sie vermöge seiner Elasticität wie eine abstoßende Kraft etwas von einander getrennt halten und sogar, falls die Anziehungskraft zwischen den Körpertheilchen geringer ist, dieselben immer weiter von einander zu entfernen suchen, wie dieser Fall wirklich bei den luftförmigen Körpern eintritt; sondern der Aether müßte, da wir von den Himmelskörpern Licht erhalten, auch den ganzen Weltraum erfüllen. Und wirklich hat sich bei der Beobachtung des Enke'schen Kometen ergeben, daß derselbe bei seinem Umlauf um die Sonne einen Widerstand erleidet, der von einem feinen, den Weltraum durchdringenden Stoffe herrührt und nur bei so luftigen und nebelartigen Wesen, wie die Kometen sind, bemerkbar wird.

Die Aetherschwingungen, durch welche Wärme erregt wird, zeigen sich nach §. 183 bei den meisten chemischen Verbindungen; **chemische Anziehung** aber findet nur statt, wenn bei der Berührung zweier Körper entgegengesetzte, sich anziehende Elektricitäten erregt werden, und ist ganz eine Wirkung der **Elektricität**; so wird also der Aether durch elektrische Strömungen in Schwingungen versetzt, und auch sonst werden die meisten elektrischen Versuche von Licht- und Wärmeentwickelung begleitet. Wie aber ein heftiger Wellenschlag des Wassers erfolgt, wenn in demselben Bassin zwei Wasserströme auf einander stoßen, so erfolgt in dem elektrischen Funken eine Wellenbewegung des Aethers, wie es scheint, durch den Zusammenstoß zweier Aetherströme. Die Elektricität wäre dann eine Strömung des Aethers, die stets in einem Kreislauf wieder in sich zurückzukehren suchte, die in der Reibungselektricität einem lebendig dahineilenden Bache, im Galvanismus einem breiten, mächtigen Strome gliche und den **Magnetismus** hervorbrächte, sobald sie einen Körper, besonders Eisen, in regelmäßigen Bahnen umkreiste.

